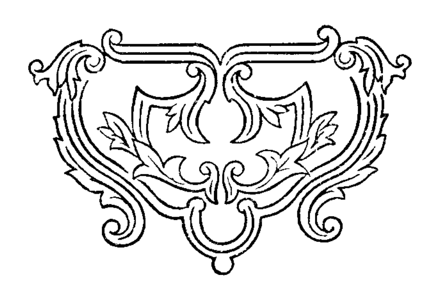


КЛАССИКИ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

МАТЕМАТИКА
МЕХАНИКА
ФИЗИКА
АСТРОНОМИЯ



Государственное издательство
ТЕХНИКО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
Москва - 1954



И. НЬЮТОН

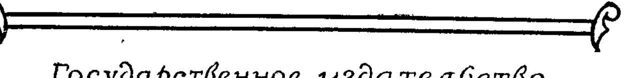
ОПТИКА

или

ТРАКТАТ
ОБ ОТРАЖЕНИЯХ, ПРЕЛОМЛЕНИЯХ, ИЗГИБАНИЯХ И ЦВЕТАХ СВЕТА

Перевод
с третьего английского издания 1721 г.
с примечаниями
С. И. ВАВИЛОВА

Издание второе,
просмотренное Г. С. Ландсбергом



Государственное издательство
ТЕХНИКО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
Москва — 1954



ПРЕДИСЛОВИЕ I.

Часть последующего рассуждения о свете была написана по желанию некоторых джентльменов Королевского Общества в 1675 году, послана тогда же секретарю Общества и зачитана на собраниях [1]. Остальное было прибавлено приблизительно двенадцать лет спустя для дополнения теории, за исключением третьей книги и последнего предложения второй, взятых из разрозненных бумаг. Дабы избежать вовлечения в споры об этих предметах, я откладывал до сих пор печатание и откладывал бы и дальше, если бы настойчивость друзей не взяла верх надо мною [2]. Если выпущены иные мемуары, написанные по тому же предмету мною, они несовершенны и были, возможно, написаны до того, как я произвел все опыты, изложенные здесь, и окончательно убедился в отношении законов преломлений и сложения цветов [3]. Я опубликовал здесь то, что считаю подходящим для сообщения, и высказываю желание, чтобы книга не переводилась на другой язык без моего согласия [4].

Я стремился дать понятие о цветных коронах, иногда появляющихся вокруг солнца и луны, но за отсутствием достаточных наблюдений оставляю этот предмет для дальнейшего исследования. Материал третьей книги я также оставил несовершенным, я не выполнил всех опытов, которые намеревался сделать, когда занимался этими предметами, и не повторил некоторых опытов, сделанных раньше, так, чтобы быть удовлетворенным относительно всех обстоятельств этих опытов. Единственная

моя цель при опубликовании этих бумаг — сообщить о том, что я испробовал, и предоставить остальное другим для дальнейшего исследования.

В одном письме, написанном мр. Лейбницу в 1679 году и опубликованном др. Уоллисом, я указал на метод, при помощи которого я нашел несколько общих теорем относительно квадратуры криволинейных фигур и сравнения их с коническими сечениями или иными простейшими фигурами, с которыми они могут быть сравнены. Несколько лет спустя я передал один манускрипт, содержащий эти теоремы; обнаружив после этого некоторые вещи, скопированные с манускрипта, я по этому случаю его опубликовываю, предпосылая введение и присоединив поучение, касающееся указанного метода. Я добавил к нему и другой маленький трактат, касающийся криволинейных фигур второго рода, написанный также много лет тому назад и ставший известным некоторым друзьям, которые и побудили к его опубликованию[5].

И. Н.

Апреля 1.
1704.

ПРЕДИСЛОВИЕ II.

В этом втором издании Оптики я опустил математические трактаты, опубликованные в конце предыдущего издания, как не относящиеся к предмету. В конце третьей книги я прибавил несколько вопросов[6]. Дабы показать, что я не считаю тяготение существенным свойством тел, я добавил один вопрос, касающийся его причины, выбрав для изложения форму вопроса, ибо я не удовлетворен в этом отношении отсутствием опытов.

И. Н.

Июля 16.
1717.


Книга первая
ОПТИКИ



ЧАСТЬ I.



Мое намерение в этой книге — не объяснять свойства света гипотезами, но изложить и доказать их рассуждением и опытами [7]. Для этого я предпосылаю следующие определения и аксиомы.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ I.

Под лучами света я разумею его мельчайшие части, как в их последовательном чередовании вдоль тех же линий, так и одновременно существующие по различным линиям. Ибо очевидно, что свет состоит из частей как последовательных, так и одновременных, потому что в одном и том же месте вы можете остановить части, приходящие в один момент, и пропустить приходящие в следующий, и в одно и то же время вы можете остановить свет в одном месте и пропустить его в другом. Остановленная часть света не может быть той же самой, которая уже прошла. Наименьший свет или часть света,

которая может быть остановлена одна, без остального света, или же распространяется одна, или совершает или испытывает одна что-либо такое, чего не совершает и не испытывает остальной свет, я называю лучом света [8].

ОПРЕДЕЛЕНИЕ II.

Преломляемость лучей света есть их расположение к преломлению или отклонению от своего пути при переходе из одного прозрачного тела или среды в другую. Бóльшая или меньшая преломляемость лучей есть их расположение к большему или меньшему отклонению от своего пути при одинаковых падениях в ту же среду. Математики обыкновенно рассматривают лучи света как линии, простирающиеся от светящегося тела к освещаемому, и преломление лучей — как изгибание или излом этих линий при переходе из одной среды в другую. Таким способом лучи и преломление могут рассматриваться, если свет распространяется мгновенно. Но из довода, основанного на уравнении времени затмений *спутников Юпитера*, следует, повидимому, что свет распространяется во времени, затрачивая на переход от Солнца к нам около семи минут времени. Поэтому я предпочел определить лучи и преломления в таких общих выражениях, которые были бы пригодны для света в обоих случаях [9].

ОПРЕДЕЛЕНИЕ III.

Отражаемость лучей — их расположение отражаться или возвращаться назад в ту же среду от другой среды, на поверхность которой они падают. Лучи отражаемы больше или меньше в зависимости от большей или меньшей легкости их возвращения назад. Если свет переходит из стекла в воздух и все более наклоняется к общей поверхности стекла и воздуха, то он наконец начинает полностью отражаться этой поверхностью; такие сорта лучей, которые при равных падениях отражаются наиболее обильно или же скорее всех отражаются нацело при возрастающем наклоне лучей, суть лучи наиболее отражаемые [10].

ОПРЕДЕЛЕНИЕ IV.

Угол падения есть угол, образуемый линией, описываемой падающим лучом, с перпендикуляром к отражающей или преломляющей поверхности при точке падения.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ V.

Угол отражения или преломления есть угол, составляемый линией, описываемой отраженным или преломленным лучом, с перпендикуляром к отражающей или преломляющей поверхности при точке падения.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ VI.

Синусы падения, отражения и преломления суть синусы углов падения, отражения и преломления.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ VII.

Свет, лучи которого все одинаково преломляемы, я называю простым, однородным и подобным; свет же, одни лучи которого более преломляемы, чем другие, я называю сложным, неоднородным и разновидным. Я называю первый свет однородным не потому, что он таков во всех отношениях, но потому, что лучи одинаковой преломляемости согласуются по меньшей мере по всем тем другим свойствам, которые я рассматриваю в последующем рассуждении.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ VIII.

Цвета однородного света я называю первичными, однородными и простыми, цвета же неоднородного света — неоднородными и сложными. Ибо они всегда слагаются из цветов однородного света, как станет ясным из последующего рассуждения.

АКСИОМЫ [11].

АКСИОМА I.

Углы отражения и преломления лежат в одной и той же плоскости с углом падения.

АКСИОМА II.

Угол отражения равен углу падения.

АКСИОМА III.

Если преломленный луч возвращается прямо назад к точке падения, он преломится по линии, ранее описанной падающим лучом [12].

АКСИОМА IV.

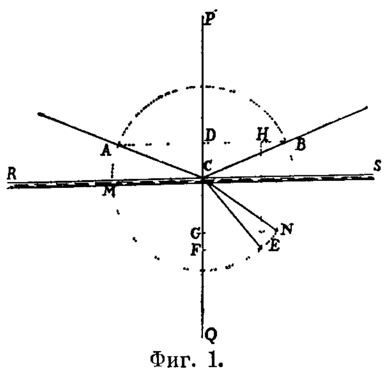
Преломление из более разреженной среды в плотную происходит по направлению к перпендикуляру, то-есть так, что угол преломления будет меньше, чем угол падения.

АКСИОМА V.

Синус падения точно или очень близко находится в данном отношении к синусу преломления.

Отсюда, если это отношение известно для какого-нибудь наклона падающего луча, оно известно для всех наклонов, благодаря чему можно определить преломление при всех случаях падения для того же преломляющего тела. Так, если преломление происходит из воздуха в воду, то синус падения красного света относится к синусу его преломления, как 4 к 3. Если же преломление происходит из воздуха в стекло, синусы относятся, как 17 к 11. Для света другой окраски синусы находятся в другом отношении, но разница столь мала, что ее редко нужно принимать во внимание [12a].

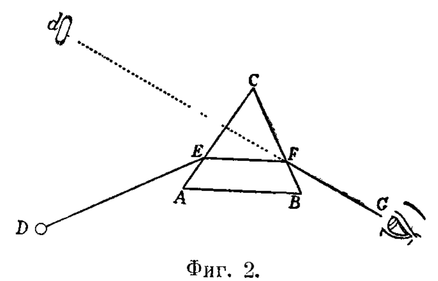
Предположим поэтому, что *RS* (фиг. 1) представляет поверхность стоячей воды и что *C* — точка падения, в которой всякий луч, идущий в воздухе по линии *AC*, отразится или преломится, и я желал бы знать, куда пойдет этот луч после отражения или преломления. Я восставляю к поверхности воды из точки падения перпендикуляр *CP* и продолжаю его вниз до *Q*; по первой аксиоме я заключаю, что луч после отражения и преломления будет находиться где-нибудь в плоскости падения *ACP* на ее продолжении. Я опускаю поэтому на перпендикуляр *CP* синус падения *AD*. Если желательно найти отраженный луч, я продолжаю *AD* до *B* таким образом, что *DB* равно *AD*, и провожу *CB*, ибо эта линия *CB* будет отраженным лучом; угол отражения *BCP* и его синус *BD* равны соответственно углу и синусу падения, как это должно быть по второй аксиоме. Если же желателен преломленный луч, я продолжаю *AD* до *H* таким образом, что *DH* относится к *AD*, как синус преломления к синусу падения, то-есть (если свет красный) как 3 к 4. Описывая радиусом *CA* вокруг центра *C* в плоскости *ACP* круг *ABE*, я провожу параллель к перпендикуляру *PCQ* по линии *HE*, пересекающей окружность в *E*, и соединяю *C*, *E*; эта линия *CE* будет линией преломленного луча. Ибо, если опустить *EF* перпендикулярно на линию *PQ*, линия *EF* будет синусом преломления луча *CE*, если угол преломления *ECQ*; этот синус *EF* равен *DH* и, следовательно, относится к синусу падения *AD*, как 3 к 4.



Фиг. 1.

Таким же образом, если имеется стеклянная призма (то-есть стекло, ограниченное двумя равными и параллельными треугольными основаниями и тремя плоскими

и хорошо полированными сторонами, встречающимися по трем параллельным линиям, идущим от трех углов одного основания и трех углов другого) и если желательно знать преломление света при прохождении через призму, то пусть ACB (фиг. 2) представляет плоскость, пересекающую эту призму перпендикулярно трем ее параллельным линиям, или ребрам, в том месте, где свет проходит через нее, и пусть DE будет луч, падающий на первую

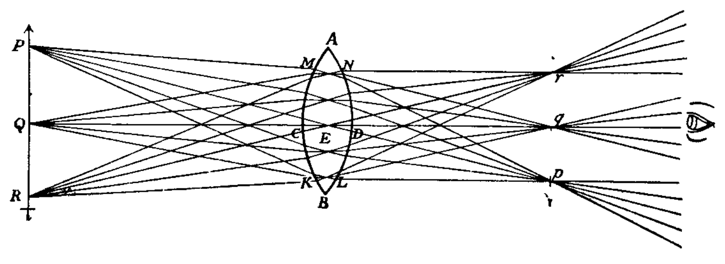


Фиг. 2.

сторону призмы AC в том месте, где свет входит в стекло; полагая отношение синуса падения к синусу преломления равным 17 к 11, найдем EF, первый преломленный луч. Затем, принимая этот луч падающим на вторую сторону стекла BC, где свет выходит, найдем следующий преломленный луч FG, полагая отношение синуса падения к синусу преломления равным 11 к 17. Ибо, если синус падения из воздуха в стекло относится к синусу преломления, как 17 к 11, то синус падения из стекла в воздух должен, наоборот, относиться к синусу преломления, как 11 к 17, по третьей аксиоме.

Таким же образом, если $ACBD$ (фиг. 3) представляет стекло, сферически выпуклое с обеих сторон (обыкновенно называемое *линзой*, каковы зажигательное стекло, очковое стекло или объективное стекло телескопа), и требуется знать, как преломится свет, падающий на нее от некоторой светящей точки Q, то положим, что QM представляет луч, падающий на точку M первой сферической поверхности ACB; восставляя перпендикуляр к стеклу в точке M, найдем первый преломленный луч

из пропорции синусов 17 к 11. Пусть этот луч при выходе из стекла падает на N; второй преломленный луч Nq найдем из пропорции синусов 11 к 17. Таким же обра-



Фиг. 3.

зом можно найти преломление линзы, выпуклой с одной стороны и плоской или вогнутой — с другой, или вогнутой с обеих сторон.

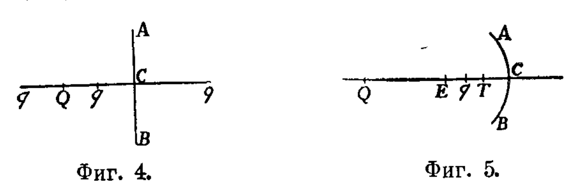
АКСИОМА VI.

Однородные лучи, идущие от различных точек объекта и падающие перпендикулярно или почти перпендикулярно на какую-либо отражающую или преломляющую плоскость или сферическую поверхность, точно или без заметной ошибки расходятся после этого из такого же числа других точек, или параллельны такому же числу других линий, или сходятся в стольких же других точках. То же произойдет, если лучи отражаются или преломляются последовательно двумя, тремя или бо́льшим числом плоскостей или сферических поверхностей.

Точка, от которой лучи расходятся или в которой они сходятся, может быть названа их *фокусом*. Если фокус падающих лучей дан, то фокус отраженных или преломленных лучей может быть найден, если найти преломление каких-либо двух лучей, как выше, или еще проще так:

Случай 1. Пусть ACB (фиг. 4) будет отражающей или преломляющей плоскостью, Q — фокус падающих

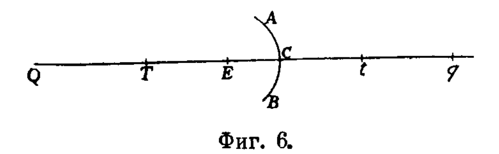
лучей и QqC — перпендикуляр к этой плоскости. Если продолжить этот перпендикуляр до q так, что qC будет равно QC, то точка q будет фокусом отраженных лучей. Или если qC откладывается по ту же сторону от плоскости, как и QC, и находится к QC в такой пропорции, как синус падения к синусу преломления, то точка q будет фокусом преломленных лучей.



Фиг. 4. Фиг. 5.

Случай 2. Пусть ACB (фиг. 5) будет отражающая поверхность некоторой сферы с центром в E. Разделим пополам какой-нибудь из ее радиусов (положим EC) в T. Если, далее, на том же радиусе по одну сторону от T вы возьмете точки Q и q так, что TQ, TE и Tq образуют непрерывную пропорцию, и точка Q будет фокусом падающих лучей, то точка q будет фокусом отраженных лучей[13].

Случай 3. Пусть ACB (фиг. 6) — преломляющая поверхность какой-либо сферы с центром в E. На каком-



Фиг. 6.

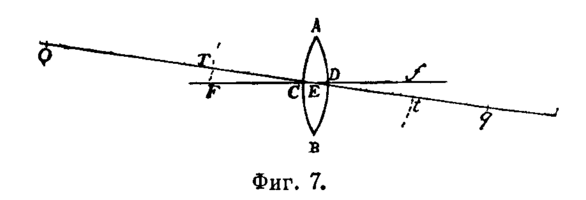
нибудь ее радиусе EC, продолженном в обе стороны, возьмем ET и Ct равными друг другу и находящимися к радиусу в таком же отношении, в каком меньший из синусов падения и преломления находится к разности этих синусов. Если далее вы найдете на той же линии какие-нибудь две точки Q и q так, что TQ будет относиться к ET, как Et к tq, то, откладывая tq в сторону,

противоположную той, в которой TQ лежит относительно T, и считая Q фокусом падающих лучей, вы найдете, что точка q будет фокусом преломленных лучей [14].

Таким же способом может быть найден фокус лучей после двух или большего числа отражений и преломлений.

Случай 4. Пусть $ACBD$ (фиг. 7) — какая-нибудь преломляющая линза, сферически выпуклая, или вогнутая, или плоская с одной из сторон, и пусть CD—ее ось (то-есть линия, пересекающая обе ее поверхности перпендикулярно и проходящая через центры сфер); на продолжении этой оси пусть F и f — фокусы преломленных



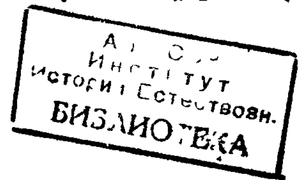


Фиг. 7.

лучей, находимые, как и выше, в том случае, когда падающие лучи с обеих сторон линзы параллельны оси. Диаметром Ff, делящимся пополам в E, опишем круг. Положим теперь, что некоторая точка Q будет фокусом падающих лучей. Проведем линию QE, пересекающую указанный круг в T и t, и отложим на ней tq таким образом, чтобы tq относилось к tE, как tE или TE к TQ. Пусть tq лежит от t по другую сторону, чем TQ от T; в таком случае q без заметной ошибки будет фокусом преломленных лучей, если только точка Q не слишком удалена от оси и линза не очень широка, ибо иначе некоторые лучи будут падать слишком отлого на преломляющие поверхности [15].

Подобными же действиями могут быть найдены отражающие или преломляющие поверхности, когда даны два фокуса и можно построить линзу, которая будет заставлять лучи итти к тому месту или от того места, которое требуется.

Таким образом смысл этой аксиомы тот, что если лучи падают на какую-нибудь плоскую или сферическую



поверхность или линзу и до падения идут от какой-нибудь точки Q или по направлению к ней, то после отражения или преломления они пойдут от точки q или к точке q, найденной по предыдущему правилу. Если падающие лучи исходят от нескольких точек Q, или направляются к ним, то отраженные или преломленные лучи будут итти от стольких же или к стольким же точкам q, находимым по тем же правилам. Идут ли отраженные или преломленные лучи от точки q или к ней, легко узнать по положению точки. Ибо если эта точка находится по ту же сторону от отражающей или преломляющей поверхности, или линзы, как и точка Q, и падающие лучи идут по направлению к Q, то отраженные лучи идут от q, преломленные же — по направлению к q. Обратное происходит, когда q находится по другую сторону от поверхности.

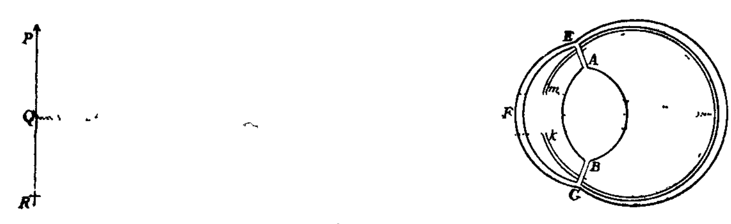
АКСИОМА VII.

Там, где лучи, приходящие ото всех точек некоторого предмета, встречаются снова в стольких же точках после того, как они сделались сходящимися посредством отражения или преломления, они дают изображение предмета на любом белом теле, на которое падают.

Пусть PR (фиг. 3) представляет некоторый объект, расположенный снаружи, и AB — помещенную в отверстии оконной ставни темной комнаты линзу, посредством которой лучи, приходящие от некоторой точки Q объекта, делаются сходящимися и встречаются в точке q, где держат белую бумагу так, чтобы свет падал на нее; на бумаге появится изображение объекта PR той же формы и цветов. Ибо, так же как свет, идущий от точки Q, приходит к точке q, так свет, идущий от других точек P и R объекта, придет к стольким же соответственным точкам p и r (что явствует из пятой аксиомы); таким образом каждая точка объекта будет освещать соответствующую точку изображения, создавая при этом изображение, подобное объекту по форме и цвету, за исключе-

нием только того, что изображение будет перевернутым. В этом — основание общеизвестного опыта с отбрасыванием отображения объекта снаружи на стену или на лист белой бумаги в темной комнате.

Точно так же, когда человек смотрит на какой-нибудь объект *PQR* (фиг. 8), то свет, исходящий из различных точек объекта, так преломляется прозрачными



Фиг. 8.

пленками и жидкостями глаза (то-есть внешней оболочкой *EFG*, называемой *Tunica Cornea*, и кристаллической жидкостью *AB* за зрачком *mk*), что сходится и снова встречается в стольких же точках на дне глаза, вырисовывая здесь изображение на той оболочке (называемой *Tunica Retina*), которой покрыто дно глаза. Ибо анатомы, снимая со дна глаза внешнюю и наиболее толстую оболочку, называемую *Dura Mater*[16], могли видеть через более тонкие пленки изображения предметов, живо обрисовывавшиеся на них. Эти изображения, распространяясь при помощи движения вдоль волокон оптических нервов в мозг, являются причиной зрения. Ибо соответственно тому, совершенны или несовершенны изображения, предмет виден совершенно или несовершенно. Если глаз окрашивается в какой-нибудь цвет (как при болезни *желтухой*), окрашивая в этот цвет изображение на дне глаза, то и все предметы кажутся окрашенными этим цветом. Когда в старом возрасте влажность глаза уменьшается, и *Cornea* и оболочка *кристаллической жидкости* становятся более плоскими, чем раньше, вследствие сжимания, то свет преломляется недостаточно, благодаря чему не будет сходиться на дне глаза, а в некотором

месте сзади; вследствие этого свет отбрасывает на дно глаза неясное изображение, и соответственно неотчетливости изображения объект будет также казаться неясным. Такова причина ослабления зрения у старых людей, она показывает также, почему зрение улучшается очками. Ибо такие выпуклые стекла пополняют недостаток круглоты в глазу и, увеличивая преломление, заставляют лучи сходиться скорее, так что они отчетливо сходятся на дне глаза, если стекло имеет требуемую степень выпуклости. Обратное происходит у близоруких людей, глаза которых слишком круглы. Ибо в этом случае преломление слишком велико, и лучи сходятся и встречаются в глазах раньше, чем приходят ко дну; поэтому изображение на дне и зрение, им вызываемое, не будут отчетливыми, если только объект не помещается близко от глаза, так, что место встречи сходящихся лучей может быть отодвинуто ко дну; излишняя круглота глаза может быть устранена и преломление уменьшено при помощи вогнутого стекла подходящей вогнутости; наконец, с возрастом глаз становится более плоским и принимает должную фигуру. Ибо близорукие люди видят удаленные предметы лучше в старом возрасте и считаются поэтому обладающими наиболее стойкими глазами.

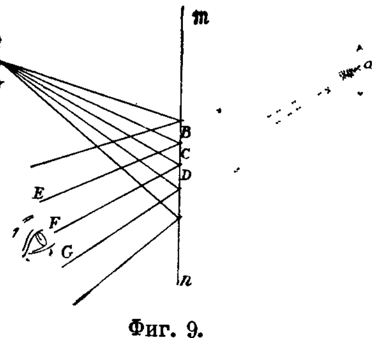
АКСИОМА VIII.

Объект, видимый при помощи отражения или преломления, кажется находящимся в том месте, откуда сходятся лучи, падающие в глаз наблюдателя после их последнего отражения или преломления.

Если объект A (фиг. 9) виден благодаря отражению в зеркале mn, он будет казаться находящимся не на своем собственном месте A, но за зеркалом в a, откуда лучи AB, AC, AD, идущие от одной и той же точки объекта, расходятся после отражения в точках B, C, D, направляясь от стекла к E, F, G, где они падают на глаз наблюдателя. Ибо эти лучи дают такое изображение на дне глаза, как будто бы они исходили от объекта, действительно помещенного в a без помощи зеркала, и

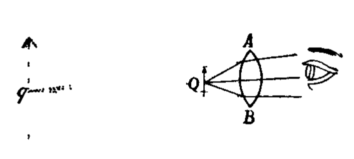
зрение происходит соответственно месту и форме этого изображения.

Подобным же образом объект D (фиг. 2), рассматриваемый через призму, кажется находящимся не на своем собственном месте D, но переносится оттуда в некоторое другое место d, расположенное по направлению последнего преломленного луча FG, продолженного назад от F к d.



Фиг. 9.

Точно так же объект Q (фиг. 10), рассматриваемый через линзу AB, кажется находящимся в месте q, откуда расходятся лучи, проходя от линзы к глазу При этом нужно отметить, что изображение объекта в q тем больше или тем меньше самого объекта в Q, чем расстояние изображения в q от линзы AB больше или меньше расстояния объекта в Q от той же линзы. Если объекг рассматривается через две или большее число таких выпуклых или вогнутых стекол, то каждое стекло будет давать новое изображение, и объект будет казаться находящимся на месте последнего изображения, имея величину этого изображения. На этих соображениях развивается теория микроскопов и телескопов. Ибо эта теория состоит почти только в описании стекол, дающих последнее изображение объекта столь отчетливым, большим и светлым, как это требуется.



Фиг. 10.

Я дал в аксиомах и объяснениях к ним сводку того, что до сих пор трактовалось в оптике[17]. Я ограничиваюсь тем, что общепринятое считаю принципами в отношении к тому, что предполагаю написагь дальше.

Изложенного достаточно в качестве введения читателям с быстрым умом и хорошим пониманием, но еще не опытным в оптике. Те, кто уже ознакомился с этой наукой и обращался со стеклами, легче поймут последующее.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ.

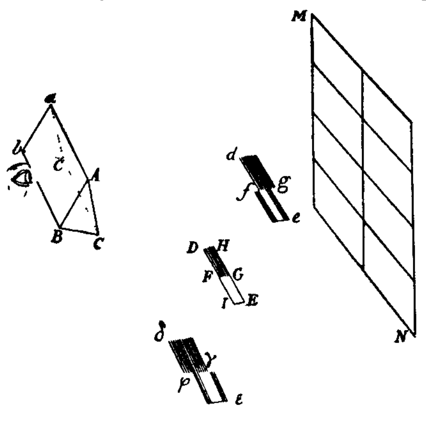
ПРЕДЛОЖЕНИЕ I. Теорема I.

Лучи, отличающиеся по цвету, отличаются и по степеням преломляемости.

Доказательство опытами.

Опыт 1. Я взял продолговатый кусок черной толстой бумаги с параллельными сторонами и разделил его на две равные половины линией, проведенной перпендикулярно к обеим сторонам. Одну часть я окрасил красной краской, другую — синей. Бумага была очень черной, краски были интенсивными и наносились толстым слоем для того, чтобы явление могло быть более отчетливым. Эту бумагу я рассматривал сквозь призму из массивного стекла, две стороны которой, служившие для прохождения света, были плоскими и хорошо полированными; они заключали угол около шестидесяти градусов; этот угол я называю преломляющим углом призмы. Рассматривая бумагу, я держал ее и призму перед окном таким образом, что стороны куска бумаги были параллельными призме: обе эти стороны, поперечная линия и призма были параллельны горизонту[18]; свет, падавший из окна на бумагу, составлял с нею угол, равный углу, образуемому бумагой и отражаемым от нее светом, попадавшим в глаз. Стена комнаты за призмой под окном была покрыта черной материей, находившейся в темноте; таким образом от нее не мог отражаться свет, который, проходя мимо краев бумаги в глаз, смешивался бы со светом от

бумаги и затемнял явление. Установив предметы таким образом, я нашел, что в том случае, когда преломляющий угол призмы повернут кверху, так что бумага кажется вследствие преломления приподнятой, то синяя сторона подымается преломлением выше, чем красная. Если же преломляющий угол призмы повернут вниз, и бумага кажется опустившейся вследствие преломления,



Фиг. 11.

то синяя часть окажется несколько ниже, чем красная. Таким образом в обоих случаях свет, приходящий от синей половины бумаги через призму к глазу, испытывает при одинаковых обстоятельствах большее преломление, чем свет, исходящий от красной половины, и, следовательно, преломляется больше.

Пояснение. На фиг. 11 MN изображает окно, DE — бумагу с параллельными сторонами DI и HE, разделенную поперечной линией FG на две половины: интенсивно синюю DG и другую, интенсивно красную FE. $BACcab$ — призма, преломляющие плоскости которой $ABba$ и $ACca$ встречаются по ребру преломляющего угла Aa. Это ребро Aa, поднятое кверху, параллельно одновременно горизонту и параллельным сторонам бумаги DI и HE; поперечная линия FG перпендикулярна

к плоскости окна. Далее, *de* представляет изображение, видимое при преломлении кверху таким образом, что синяя половина *DG* поднимается выше, в положение *dg*, красная половина *EF* находится в *ef*; синяя часть претерпевает, следовательно, большее преломление. Если ребро преломляющего угла повернуто вниз, то изображение бумаги преломлением опускается, положим, в δε, синяя половина преломляется при этом в δγ, ниже, чем красная половина, находящаяся в положении φε[19].

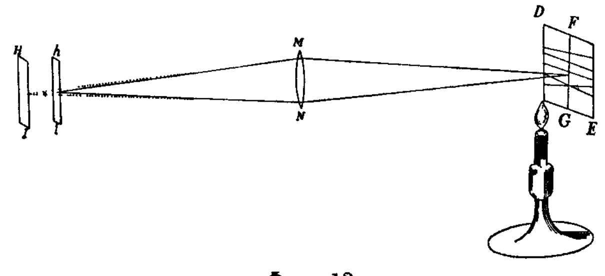
Опыт 2. На указанный выше кусок бумаги, две половины которого были окрашены в красный и синий цвет и который был жестким, как тонкий картон, я намотал несколько раз тонкую нить очень черного шелка таким образом, что несколько витков на окрашенной бумаге казались рядом черных линий, нанесенных на бумагу, или же длинными тонкими черными тенями на ней. Я мог бы начертить черные линии пером, но нитки были более тонкими и отчетливыми. Окрашенную и разлинованную таким образом бумагу я поместил на стене перпендикулярно к горизонту, так что одна окрашенная половина находилась по правую руку, другая — по левую. Вблизи бумаги, около раздела красок, внизу я поместил свечу для сильного освещения бумаги, так как опыт производился ночью. Пламя свечи достигало нижнего края бумаги или поднималось очень немного выше. Далее, на расстоянии шести футов и одного или двух дюймов от бумаги, на полу, я поставил стеклянную линзу четыре дюйма с четвертью шириною, собиравшую лучи, идущие из различных точек бумаги, и заставлявшую их сходиться в стольких же других точках на том же расстоянии в шесть футов и один — два дюйма по другую сторону линзы. В этом месте должно получиться изображение окрашенной бумаги на белой бумаге точно так же, как линза, помещенная в отверстие оконной ставни в темной комнате, отбрасывает изображения внешних предметов на листе белой бумаги. Упомянутую белую бумагу, поставленную перпендикулярно к горизонту и к лучам, падающим на нее от линзы, я передвигал несколько раз то по направлению к линзе, то от нее, для того чтобы

найти те места, где изображения синей и красной частей окрашенной бумаги кажутся наиболее отчетливыми. Я легко узнавал эти места по изображениям черных линий, полученных при помощи шелка, намотанного на бумагу. Изображения этих тонких линий (казавшихся благодаря их черноте тенями на окрашенной бумаге) сливались и были едва видимыми до тех пор, пока окраска по обе стороны каждой линии не получалась наиболее отчетливо. Отмечая тщательно, насколько я мог, те места, где изображения красной и синей половины окрашенной бумаги казались наиболее отчетливыми, я нашел, что там, где была видна отчетливо красная половина, синяя половина была неясна, так что черные линии на ней едва различались, и, наоборот, там, где синяя половина казалась наиболее отчетливой, красная казалась неясной, и черные линии на ней были едва видимы. Между двумя местами, где эти изображения казались отчетливыми, было расстояние в полтора дюйма; расстояние белой бумаги от линзы в случае отчетливого изображения красной половины окрашенной бумаги было на один дюйм с половиною больше, чем расстояние той же белой бумаги от линзы, когда изображение синей половины казалось наиболее отчетливым. Следовательно, при одинаковом падении синего и красного света на линзу, синий свет преломлялся линзою больше, чем красный, сходясь ближе на полутора дюйма и, следовательно, сильнее преломляясь.

Пояснение. На фиг. 12 DE изображает окрашенную бумагу, DG — синюю половину, FE — красную половину, MN — линзу, HI — белую бумагу в том месте, где красная половина с ее черными линиями кажется отчетливой, hi — ту же бумагу в том месте, где отчетливой кажется синяя половина. Положение hi было ближе к линзе MN, чем положение HI, на полутора дюйма.

Поучение. То же самое происходит и при изменении некоторых обстоятельств; в первом опыте получается то же, когда призма и бумага различным образом наклонены к горизонту, в обоих опытах — если цветные линии начерчены на очень черной бумаге. Но в описании этих

опытов я изложил такие обстоятельства, которые или делают явление более заметным или более легким для опытов новичка, или же те, которыми я только пользовался. Так же делал я часто и в следующих опытах; этого замечания достаточно в отношении всех опытов. Однако из этих опытов не следует, что весь свет от



Фиг. 12.

синей половины преломляется больше, чем свет красной половины; оба они составлены из лучей различной преломляемости, так что в красной половине есть лучи не менее преломляемые, чем лучи синей половины, а в синей половине есть лучи не более преломляемые, чем некоторые лучи красной половины, но таких лучей в отношении ко всему свету очень мало; они уменьшают успех опыта, однако не в состоянии его совершенно расстроить. Если бы красная и синяя окраски были более блеклыми и слабыми, то расстояние изображений сделалось бы меньшим чем полутора дюйма, если же окраска будет более интенсивной и полной, то это расстояние возрастает, как станет ясным в дальнейшем. Этих опытов достаточно для цветов естественных тел; для цветов, получаемых преломлением в призмах, предложение, о котором идет речь, станет ясным из опытов, излагаемых в следующем предложении.

ПРЕДЛОЖЕНИЕ II. Теорема II.

Солнечный свет состоит из лучей различной преломляемости.

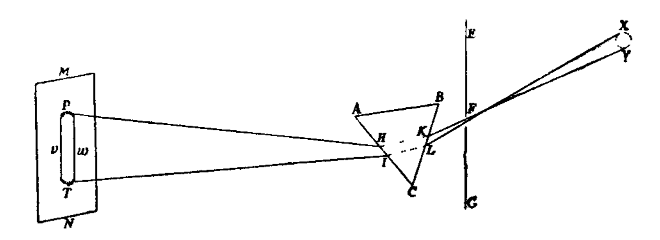
Доказательство опытами.

Опыт 3. Я поместил в очень темной комнате у круглого отверстия, около трети дюйма шириною, в ставне окна стеклянную призму, благодаря чему пучок солнечного света, входившего в это отверстие, мог преломляться вверх к противоположной стене комнаты и образовывал там цветное изображение солнца. Ось призмы (т. е. линия, проходящая через середину призмы от одного конца к другому параллельно ребру преломляющего угла) была в этом и следующих опытах перпендикулярна к падающим лучам. Я вращал медленно призму вокруг этой оси и видел, что преломленный свет на стене или окрашенное изображение солнца сначала поднималось, затем начало опускаться. Между подъемом и спуском, когда изображение казалось остановившимся, я прекратил вращение призмы и закрепил ее в этом положении так, чтобы она не могла более двигаться, ибо в этом положении по обе стороны преломляющего угла, т. е. при входе лучей внутрь призмы и при выходе из нее, преломления света были равны между собой [19a]. Также и в других опытах, когда я хотел, чтобы преломления по обе стороны призмы были равными, я отмечал место, где изображение солнца, образованное преломленным светом, останавливалось между двумя противоположными движениями при смене поступательного движения на попятное; когда изображение падало на это место, я закреплял призму [20]. Именно в этом положении, как наиболее подходящем, следует понимать расположенными призмы и в следующих опытах, если только не описывается другое положение. Поместив призму в это положение, я заставил преломленный свет падать перпендикулярно на лист белой бумаги на противоположной стене комнаты и наблюдал фигуру и размеры солнечного изображения, образованного светом на бумаге. Это изображение было удлиненным, но не овальным, и замыкалось двумя прямолинейными и параллельными сторонами и двумя полукруглыми концами. По бокам оно было ограничено очень отчетливо, на концах же — неясно и неопределенно: свет

ослаблялся и исчезал там постепенно. Ширина этого изображения была около двух дюймов с одной восьмою, включая полутень, и соответствовала диаметру солнца, ибо изображение находилось на расстоянии восемнадцати с половиною футов от призмы; на этом расстоянии указанная ширина, уменьшенная на диаметр отверстия в ставне окна, т. е. на четверть дюйма, соответствует на призме углу около половины градуса, являющемуся кажущимся диаметром солнца. Но длина изображения была около десяти с четвертью дюймов, ширина же прямолинейных сторон — около восьми дюймов; преломляющий угол призмы, благодаря которому получилась столь значительная длина изображения, был 64 градуса. С меньшим углом длина изображения была меньше, ширина же оставалась той же самой. Если призма повертывалась вокруг своей оси таким образом, что лучи выходили из второй преломляющей поверхности призмы более отлого, то изображение становилось на один, два или более дюймов длиннее; если призма повертывалась в противоположном направлении, так что лучи падали более отлого на первую преломляющую поверхность, то изображение укорачивалось на один или два дюйма. Вот почему, производя этот опыт, я стремился, насколько мог, ставить призму согласно вышеуказанному правилу точно в такое положение, чтобы преломления лучей при их выходе из призмы равнялись преломлениям при падении на призму. В этой призме было несколько жил, пробегавших внутри стекла от одного конца до другого: эти жилы неправильно рассеивали некоторую часть солнечного света, но не имели заметного влияния на удлинение окрашенного спектра, ибо я производил тот же опыт с другими призмами с таким же успехом. В частности с призмой, повидимому, не имевшей таких жил, с преломляющим углом в $62^1/_2$ градуса я нашел длину изображения $9^3/_4$ или 10 дюймов на расстоянии $18^1/_2$ футов от призмы; ширина отверстия в оконной ставне при этом была $^1/_4$ дюйма, как и раньше. Я повторял опыт четыре или пять раз, ибо нетрудно ошибиться при установке призмы в надлежащее положение, и всегда находил длину

изображения такой, как она приведена выше. С другой призмой из более прозрачного стекла и лучше отполированной, свободной, повидимому, от жил и с преломляющим углом в $63^1/_2$ градуса, длина изображения на том же расстоянии в $18^1/_2$ футов была также около 10 или $10^1/_8$ дюймов. За этими пределами на $^1/_4$ или $^1/_3$ дюйма на обоих концах спектра свет облаков казался несколько окрашенным в красный и фиолетовый цвет, но столь слабо, что я заподозрил, что эта окраска полностью или большею частью вызывается лучами спектра, неправильно рассеивающимися благодаря некоторой неоднородности вещества и полировке стекла; поэтому я не включил эту окраску в пределы спектра. С другой стороны, различные величины отверстия в оконной ставне, различные толщины того места призмы, где через нее проходят лучи, и различные наклоны призмы к горизонту не изменяют заметно длины изображения. Не влияет также различие вещества призмы, ибо в сосуде, сделанном из полированных стеклянных пластинок, склеенных вместе в форме призмы и наполненном водою, получается такой же результат опыта в отношении величины преломления [21]. Далее, следует заметить, что лучи идут от призмы к изображению по прямым линиям и поэтому на их длинном пути от призмы они наклонены друг к другу соответственно длине изображения, т. е. более чем на два с половиною градуса. Однако, согласно законам оптики в общепринятом понимании, лучи не могут столь наклониться один к другому [21a]; пусть *EG* (фиг. 13) представляет ставню окна, *F* — отверстие в ней, через которое пучок солнечного света пропускается в затемненную комнату, *ABC* — треугольная воображаемая плоскость, по которой, надо представить себе, призма пересекается поперек серединою света. Или, если угодно, пусть *ABC* представляет самую призму, направленную прямо к глазу наблюдателя ее ближайшей вершиной, и пусть *XY* будет солнце, *MN* — бумага, на которую отбрасывается солнечное изображение спектра, *PT* — само изображение, стороны которого *v* и *w* прямолинейны и параллельны, концы же *P* и *T* полукруглые, *YKHP* и *XLIT* — два луча;

первый из них идет от нижней части солнца к верхней части изображения и преломляется в призме K и H; второй идет от верхней части солнца к нижней части изображения и преломляется у L и I. Преломления на обеих гранях призмы равны одно другому, т. е. преломление у K равно преломлению у I, и преломление у L равно преломлению у H, так что преломления падающих лучей



Фиг. 13.

у K и L, взятые вместе, равны преломлениям выходящих лучей при K и H, взятым вместе; складывая равное с равным, получаем, что преломления при K и H, взятые вместе, равны преломлениям при I и L, взятым вместе, и, следовательно, два луча, одинаково преломленные, имеют тот же наклон один по отношению к другому после преломления, как и до него, т. е. наклон в половину градуса соответственно диаметру солнца, ибо так были наклонены лучи друг к другу до преломления. Таким образом, по правилам общепринятой оптики длина изображения PT должна соответствовать углу в половину градуса у призмы и, следовательно, должна равняться ширине vw; поэтому изображение должно быть круглым. Так было бы, если бы два луча $XLIT$ и $YKHP$ и все остальные, дающие изображения Pw и Tv, одинаково преломлялись. Из опыта найдено, что изображение получается не круглое, но удлиненное, с длиною почти в пять раз большей ширины; поэтому лучи, идущие к верхнему концу P изображения, претерпевают наибольшее преломление и должны больше преломляться, чем те лучи, ко-

торые идут к нижнему концу T, если только неравенство преломления не случайно.

Это изображение спектра PT было окрашено красным в наименее преломленном конце T, фиолетовым — в наиболее преломленном конце P и желтым, зеленым и синим — в промежуточном пространстве. Это согласуется с первым положением, что свет, различающийся по цвету, различается и в отношении преломляемости. Длину изображения в предыдущих опытах я измерял от крайнего и наиболее слабого красного цвета на одном конце до наиболее слабого и крайнего синего на другом конце, исключая только небольшую полутень, ширина которой едва ли превосходила четверть дюйма, как было сказано выше.

Опыт 4. В солнечный пучок, распространявшийся в комнату через отверстие в оконной ставне, я вводил на расстоянии нескольких футов от отверстия призму в таком положении, что ось ее была перпендикулярна к пучку. Затем я смотрел сквозь призму на отверстие и вращал призму в ту и другую сторону вокруг ее оси, заставляя изображение отверстия опускаться и подниматься; я остановил призму, когда между двумя противоположными движениями изображение казалось остановившимся; в этом случае преломления по обеим сторонам преломляющего угла должны быть равны, как и в предыдущем опыте. Смотря при таком положении призмы сквозь нее на отверстие, я видел, что длина преломленного изображения в несколько раз больше ширины; наиболее преломленная часть изображения казалась фиолетовой, наименее преломленная — красной, средняя часть — по порядку: синяя, зеленая и желтая. То же самое произошло, когда я удалил призму из пучка солнечного света и смотрел через нее на отверстие, освещенное светом облаков. Если бы, однако, преломление происходило правильно, согласно одному определенному отношению синусов падения и преломления, как это обыкновенно предполагается, то преломленное изображение должно бы казаться круглым.

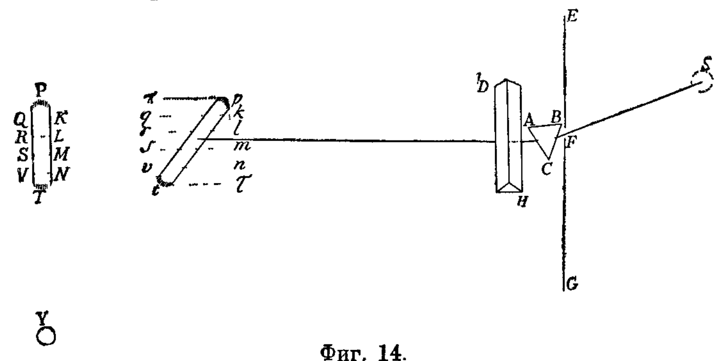
Таким образом эти два опыта показывают, что при одинаковых падениях имеется значительное неравенство

преломлений. Откуда, однако, проистекает это неравенство, оттого ли, что некоторые из падающих лучей преломляются больше, а другие меньше, постоянно или случайно, или оттого, что один и тот же луч рассеивается, расширяется и как бы расщепляется и разбивается на несколько расходящихся лучей, как это предполагает *Гримальдо*[23], — еще не ясно из этих опытов, но станет ясным из следующих.

Опыт 5. Рассудив, что если в третьем опыте изображение солнца получается удлиненной формы вследствие расширения каждого луча или же благодаря какому-либо другому случайному неравенству преломлений, то такое же удлиненное изображение, но растянутое в ширину, должно получиться при втором преломлении, производимом в сторону, благодаря подобному же расширению лучей или другому случайному неравенству преломлений, я попробовал, каков будет результат такого второго преломления. Для этой цели я расположил все предметы так же, как и в третьем опыте, и затем поставил вторую призму непосредственно после первой в поперечное положение к ней, так чтобы она снова могла преломлять пучок солнечного света, приходящий к ней через первую призму. В первой призме пучок преломлялся кверху, а во второй — в сторону. Я нашел, что преломление во второй призме не увеличивает ширину изображения, но что его верхняя часть, претерпевающая в первой призме большее преломление и кажущаяся фиолетовой и синей, преломляется и во второй призме больше, чем нижняя часть, являющаяся красной и желтой, причем это происходит без какого-либо увеличения ширины изображения.

Пояснение. Пусть S (фиг. 14) представляет солнце, F — отверстие в окне, ABC — первую призму, DH — вторую призму, Y — круглое изображение солнца, образуемое непосредственно пучком света, когда призмы убраны, PT — удлиненное изображение солнца, образуемое тем же пучком при прохождении только через первую призму, когда вторая призма убрана, pt — изображение, получаемое при перекрестных преломлениях обеих

призм вместе. Если теперь лучи, направленные к различным точкам круглого изображения Y, расширяются и разбиваются преломлением первой призмы так, что уже не идут по определенной линии к определенной точке, но каждый луч расщепляется, рассеивается и превращается из линейного луча в поверхность лучей, расходящуюся от точки преломления и лежащую в плоскости углов падения и преломления, то лучи будут приходить в этих



Фиг. 14.

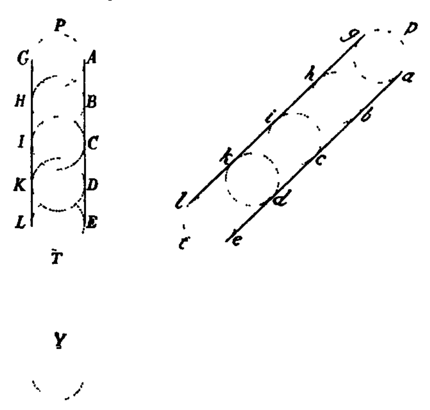
плоскостях к соответствующему числу линий, простирающихся от одного конца изображения PT до другого, и изображение поэтому станет удлиненным; эти лучи и их различные части, стремящиеся к различным точкам изображения PT, должны снова расшириться и рассеяться в сторону при перекрестном преломлении во второй призме и должны составить квадратное изображение, как это изображено у $\pi\tau$. Для лучшего понимания этого разделим изображение PT на пять равных частей: PQK, $KQRL$, $LRSM$, $MSVN$, NVT. Та же самая неправильность, благодаря которой круглый пучок света Y растягивается, преломляясь в первой призме, в длинное изображение PT, заставит свет PQK, занимающий пространство той же длины и ширины, как Y, при преломлении во второй призме расшириться в длинное изображение πqkp, свет $KQRL$ — в длинное изображение $kqrl$, а свет $LRSM$, $MSVN$, NVT — в соответственные длинные изображения

lrsm, *msvn*, *nvtτ*. Все эти длинные изображения составят квадратное изображение *πτ*. Это должно произойти, если каждый луч расширяется преломлением и рассеивается в треугольную поверхность лучей, расходящихся из точки преломления, ибо второе преломление рассеет лучи в одну сторону так же, как первое рассеивает в другую, — оно увеличит ширину изображения настолько же, насколько первое преломление увеличивает длину. То же самое должно произойти, если некоторые лучи случайно преломляются больше, чем другие. На самом деле происходит иначе. Изображение *PT* не становилось шире, преломляясь во второй призме, но делалось только наклонным, как это представлено в *pt*, его верхний конец *P* переносился преломлением на большее расстояние, чем нижний конец *T*. Таким образом, свет, шедший к верхнему концу *P* изображения, был (при равных падениях) более преломленным во второй призме, чем свет, направленный к нижнему концу *T*, т. е. синий и фиолетовый больше, чем красный и желтый, и поэтому более преломляем. Тот же свет, преломляясь в первой призме, переносился дальше от места *Y*, к которому он был направлен до преломления, и, следовательно, как в первой, так и во второй призме испытывал большее преломление, чем остальной свет, являясь таким образом более преломляемым еще до падения на первую призму.

Иногда я ставил третью призму за второй, а иногда также и четвертую за третьей для того, чтобы сильнее отклонить изображение в сторону, но лучи, сильнее остальных преломляющиеся в первой призме, сильнее преломлялись и в следующих призмах, при этом не получалось уширения изображения в сторону, и, следовательно, эти лучи, благодаря их постоянной большей преломляемости, можно по праву считать наиболее преломляемыми.

Но для того, чтобы смысл этого опыта стал наиболее ясным, следует отметить, что лучи одинаковой преломляемости падают на круг, соответствующий диску солнца, ибо это было доказано в третьем опыте. Под кругом я понимаю здесь не совершенный геометрический круг, но некоторую круглую фигуру, длина которой равна ее ши-

рине и которая глазу может казаться круглой. Пусть, следовательно, *AG* (фиг. 15) представляет круг, который освещался бы всеми наиболее преломляемыми лучами, распространяющимися от полного солнечного диска, и вырисовывался бы на противоположной стене, если бы эти лучи были одни; *EL* — круг, освещаемый и отбрасываемый на стене всеми наименее преломляемыми лучами, если бы эти лучи были одни; *BH*, *CI*, *DK* — круги,



Фиг. 15.

отбрасываемые на стене промежуточными сортами лучей, если бы они одни в последовательном порядке распространялись от солнца, остальные же лучи всегда исключались; при этом заметим, что существуют и другие бесчисленные промежуточные круги, которые последовательно отбрасывались бы на стене другими бесчисленными лучами, если бы солнце последовательно посылало каждый сорт отдельно. Но мы видим, что солнце посылает все эти сорта лучей сразу; поэтому они должны все вместе освещать и отбрасывать бесчисленные равные круги, которые, располагаясь согласно их степеням преломляемости в непрерывный ряд, образуют удлиненный спектр *PT*, описанный мною в третьем опыте. Если теперь круглое изображение солнца *Y* (фиг. 14, 15), полученное от непреломленного пучка света, развернулось в удлиненный

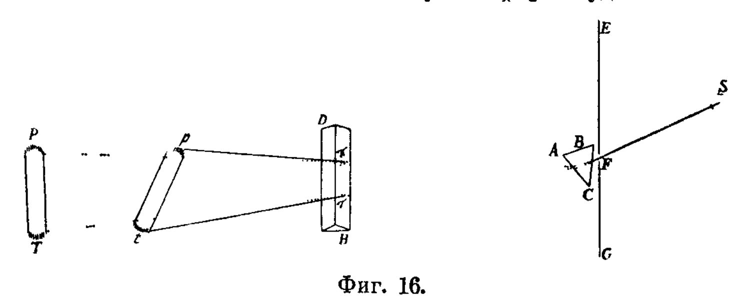
спектр *PT* благодаря расширению отдельного луча или благодаря какой-либо другой неправильности преломления в первой призме, то всякий круг *AG*, *BH*, *CI* и т. д. в этом спектре при перекрестном преломлении во второй призме должен снова расширить или рассеять лучи, как и раньше, превращаясь в удлиненную фигуру; вследствие этого ширина изображения *PT* должна бы теперь увеличиться настолько, насколько изображение *Y* увеличилось в длину преломлением в первой призме, и таким образом, благодаря преломлениям в обеих призмах вместе, должна бы образоваться квадратная фигура *pπtτ*, как я описал выше. Но так как ширина спектра *PT* не увеличивается преломлением в сторону, то ясно, что лучи не расщепляются, не расширяются и не рассеиваются неправильно каким-либо иным способом при преломлении, но каждый круг переносится полностью правильным и однородным преломлением в другое место: круг *AG* наибольшим преломлением переносится в положение *ag*, круг *BH* меньшим преломлением в положение *bh*, круг *CI* еще меньшим преломлением в положение *ci*, и так же с остальными; таким образом новый спектр *pt*, наклоненный к прежнему *PT*, составлен из кругов, лежащих на прямой линии; эти круги должны быть той же толщины, как и прежние, так как ширина всех спектров *Y*, *PT* и *pt* одинакова на равных расстояниях от призм.

Я заметил, далее, что благодаря ширине отверстия *F*, через которое свет входил внутрь темной комнаты, вокруг спектра *Y* имеется полутень, остающаяся по прямым линейным сторонам спектров *PT* и *pt*. Поэтому я поставил у отверстия линзу или объективное стекло телескопа, которое могло отбрасывать изображение солнца в *Y* отчетливо, совершенно без полутени, и нашел, что при этом также исчезает полутень на прямолинейных сторонах удлиненных спектров *PT* и *pt* и они кажутся столь же отчетливыми, как и окружность первого изображения *Y*. Это удается, если стекло призм не имеет жилок, стороны их весьма плоские и хорошо отполированы, без тех бесчисленных волн или вихрей, которые обыкновенно происходят от царапин, оставляемых песком,

и только слегка исправляются при полировке оловянной золой. Если стекло хорошо полировано и не имеет жил, стороны его, однако, не плоские, но несколько выпуклые или вогнутые, как это часто бывает, то три спектра *Y*, *PT* и *pt* могут быть и без полутеней, но не на равных расстояниях от призм. По отсутствию полутеней я убедился еще более определенно, что каждый из кругов преломлялся согласно чрезвычайно правильному, однородному и постоянному закону. Ибо, если бы существовала какая-либо неправильность в преломлении, то прямые линии *AE* и *GL*, которые касаются всех кругов спектра *PT*, не могли бы переводиться преломлением в линии *ae* и *gl*, столь же отчетливые и прямые, как и раньше: в этих перенесенных линиях должна бы возникнуть некоторая полутень, или кривизна, или волнистость, или какое-либо иное заметное искажение, противоположное тому, что найдено на опыте. Всякая полутень или искажение, производимое в кругах перекрестным преломлением, должно сказаться на прямых линиях *ae* и *gl*, касающихся всех этих кругов. И так как подобных полутеней или искажений нет в этих прямых линиях, их не должно быть и в кругах. Расстояние между этими касательными, или ширина спектра, не увеличивается при преломлениях; поэтому не увеличиваются и диаметры кругов. Так как эти касательные остаются прямыми линиями, то каждый круг, более или менее преломляемый в первой призме, точно в той же пропорции более или менее преломляется во второй призме [23]. Все это продолжается таким же образом, когда лучи преломляются в сторону в третьей и в четвертой призмах, откуда очевидно, что лучи, относящиеся к одному и тому же кругу, являются все время равномерными и однородными между собою в отношении их степени преломляемости, лучи же различных кругов различаются по степени преломляемости, притом в определенной и постоянной пропорции. Это я и хотел доказать.

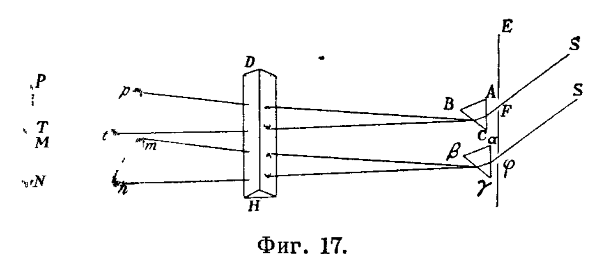
Есть, однако, еще одно или два обстоятельства в этом опыте, которые делают его еще более полным и убедительным. Пусть вторая призма *DH* (фиг. 16) поставлена

не непосредственно за первой, но на некотором от нее расстоянии; предположим, что она находится на середине между первой призмой и стеной, на которую отбрасывается удлиненный спектр PT; таким образом, свет от первой призмы падает на вторую в форме удлиненного



Фиг. 16.

спектра $\pi\tau$, параллельного второй призме, и преломляется в сторону, образуя на стене удлиненный спектр pt. Вы найдете, как и прежде, что спектр pt наклонен к спектру PT, получаемому от одной первой призмы без второй; синие концы P и p будут расположены дальше один



Фиг. 17.

от другого, чем красные концы T и t, и поэтому лучи, идущие к синему концу π изображения $\pi\tau$, т. е. претерпевающие наибольшее преломление в первой призме, преломляются снова и во второй призме больше, чем остальные лучи.

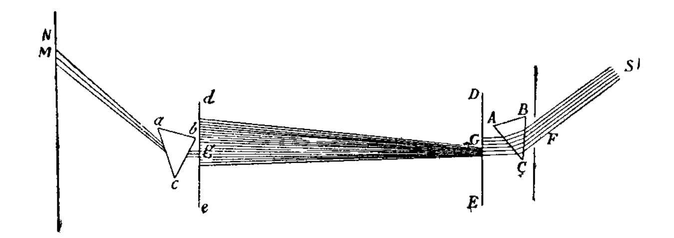
Я произвел тот же опыт, пропуская солнечный свет в темную комнату через два малых круглых отверстия F и φ (фиг. 17), сделанных в окне, и две параллельные

призмы ABC и $\alpha\beta\gamma$, помещенные около отверстий (рядом); они преломляли два пучка света к противоположной стене комнаты таким образом, что два окрашенных изображения PT и MN, отбрасываемых на стене, соприкасались концами и лежали на одной прямой линии, причем красный конец T одного изображения прикасался к синему концу M другого. Если третья призма DH помещалась накрест к двум первым, то два преломленных луча преломлялись в сторону, и спектры поэтому переводились к другой части стены комнаты, положим, спектр PT в pt и спектр MN в mn; эти перенесенные спектры pt и mn не лежат на одной прямой линии, соприкасаясь концами, как прежде, но расходятся один от другого и становятся параллельными — синий конец m изображения mn переносится вследствие большого преломления дальше от своего прежнего положения MT, чем красный конец t другого изображения pt от того же места MT, что делает выставленное положение бесспорным. Это получается, если третью призму DH ставить непосредственно за двумя первыми или на большом расстоянии от них, так что свет, преломленный в первых двух призмах, будет белым и круглым при падении на третью призму или же удлиненным и окрашенным.

Опыт 6. В середине двух тонких досок я проделал круглые отверстия диаметром в треть дюйма, а в оконной ставне было сделано значительно более широкое отверстие, для того чтобы впускать в мою затемненную комнату широкий пучок солнечного света; я поместил за ставней призму, для того чтобы пучок преломлялся к противоположной стене; непосредственно за призмой я закрепил одну из досок таким образом, чтобы середина преломленного света могла проходить через отверстия в доске, остальная же часть задерживалась доскою. Затем на расстоянии около двенадцати футов от первой доски я закрепил другую доску так, что середина преломленного света, проходящая через отверстие в первой доске и падающая на противоположную стену, могла проходить через отверстие во второй доске, остальная же часть, задержанная доскою, могла отбрасывать на ней окрашен-

ный спектр солнца. Непосредственно за этой доской я поместил другую призму для преломления света, проходящего через отверстие. Затем я быстро вернулся к первой призме и, медленно вращая ее в ту и в другую сторону вокруг ее оси, заставил изображение, падающее на вторую доску, двигаться вверх и вниз по доске, так что все его части могли последовательно проходить через отверстие в этой доске и падать на призму за нею. В то же время я отмечал на противоположной стене положения, до которых доходил свет после преломления во второй призме; по разностям этих положений я нашел, что свет, наиболее преломлявшийся в первой призме, шел к синему концу изображения и во второй призме снова больше преломлялся, чем свет, шедший к красному концу того же изображения, что доказывает как первое, так и второе предложение. Это получалось как в том случае, когда оси двух призм были параллельны, так и тогда, когда они были наклонны одна к другой и к горизонту под любыми углами.

Пояснение. Пусть F (фиг. 18) — широкое отверстие в ставне окна, через которое солнце освещает первую



Фиг. 18.

призму ABC, и пусть преломленный свет падает на середину доски DE, средняя же часть света — на отверстие G, сделанное в середине этой доски. Пусть эта пропущенная часть света снова падает на середину второй доски de и образует здесь такое же удлиненное изображение солнца, как было описано в третьем опыте. Вращая призму ABC медленно в ту и другую сторону во-

круг ее оси, можно передвигать это изображение вверх и вниз по доске *de*; таким способом все его части от одного конца до другого можно заставить последовательно проходить через отверстие *g*, сделанное в середине этой доски. В то же время другая призма *abc* помещается вблизи за отверстием *g* для второго преломления пропущенного света. Установив таким образом предметы, я отмечал места *M* и *N* на противоположной стене, на которые падает преломленный свет, и нашел, что если обе доски и вторая призма остались неподвижными, то эти места постоянно изменялись при вращении первой призмы вокруг ее оси. Когда через отверстие *g* пропускалась нижняя часть света, падающего на вторую доску *de*, то свет приходил к нижнему положению *M* на стене; когда пропускалась верхняя часть света через то же отверстие *g*, то она доходила до более высокого места *N* на стене; при пропускании промежуточной части света через отверстие свет падал в некоторое место на стене между *M* и *N*. При неизменном положении отверстий в досках падение лучей на вторую призму оставалось тем же самым во всех случаях. И, однако, при таком одинаковом падении одни лучи преломлялись больше, другие меньше. Больше преломлялись во второй призме те лучи, которые больше всего отклонялись от своего пути при большем преломлении и в первой призме, и в силу этого постоянства большей преломляемости они по праву могут быть названы более преломляемыми[24].

Опыт 7. У двух отверстий, проделанных одно вблизи другого в моей оконной ставне, я поместил рядом две призмы, которые могли отбрасывать на противоположную стену (тем же способом, как и в третьем опыте) два удлиненных окрашенных изображения солнца. На небольшом расстоянии от стены я расположил длинную узкую бумагу с прямыми и параллельными краями и установил призмы и бумагу так, что красный цвет одного изображения падал прямо на одну половину бумаги, а фиолетовый цвет другого изображения — на другую половину той же бумаги; таким образом бумага казалась двухцветной — красной и фиолетовой, почти так же, как

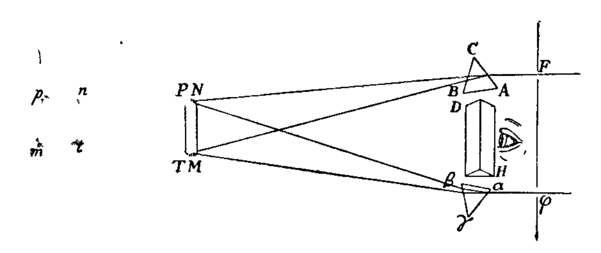
окрашенная бумага в первом и во втором опытах. Затем я покрыл стену за бумагой черной материей, так что свет не мог отражаться от стены и мешать опыту, и смотрел на бумагу через третью призму, которую держал параллельно бумаге; я видел, что половина ее, освещенная фиолетовым светом, отделялась благодаря большему преломлению от другой половины, особенно когда я отходил на большое расстояние от бумаги. Когда я смотрел вблизи, две половины бумаги не казались полностью отделенными одна от другой, но соприкасались в одном из углов подобно окрашенной бумаге в первом опыте. То же самое происходило и в том случае, когда бумага была очень широкой.

Иногда вместо бумаги я пользовался белой ниткой, через призму она казалась разделенной на две параллельные нити, как представлено на девятнадцатой фигуре, где *DG* изображает нить, освещенную фиолетовым светом от *D* до *E* и красным светом от *F* до *G*; *ed*, *fg* — части нити, видимые при преломлении. Если одна половина нити постоянно освещается красным, другая же последовательно освещается всеми цветами (что можно сделать, вращая одну из призм вокруг ее оси в то время, как другая остается неподвижной), то эта другая половина будет казаться на одной непрерывной прямой линии с первой половиной, когда она освещается красным, и начинает немного отделяться от первой половины при освещении оранжевым светом; она отходит дальше при освещении желтым, еще дальше при освещении синим, еще дальше при освещении цветом индиго и дальше всего при освещении глубоким фиолетовым. Это ясно показывает, что свет различной окраски обладает все большей и большей преломляемостью при следующем порядке цветов: красный, оранжевый, желтый, зеленый, синий, индиго, глубоко-фиолетовый, и таким образом доказывается как первое, так и второе предложение.

Фиг. 19.

Я приводил также цветные спектры *PT* (фиг. 17) и *MN*, получаемые в темной комнате преломлениями

в двух призмах, в одну прямую линию концом к концу, как было описано выше, в пятом опыте, и рассматривал их через третью призму, которую держал параллельно длине спектров. Они уже не казались лежащими в одной прямой линии, но расходились один от другого, как это представлено в *pt* и *mn*; фиолетовый конец *m* спектра *mn* переносился большим преломлением дальше из его прежнего места *MT*, чем красный конец *t* другого спектра *pt*.



Фиг. 20.

Я приводил, далее, два эти спектра *PT* (на фиг. 20) и *MN* в совпадение в обратном порядке их цветов: красный конец одного падал на фиолетовый конец другого спектра, как это изображено на удлиненной фигуре *PTMN*; при рассматривании их затем через призму *DH*, параллельную длине спектров, они уже не казались совпадающими, как при наблюдении простым глазом, но имели форму двух различных спектров *pt* и *mn*, пересекавших один другой в середине наподобие буквы X. Отсюда видно, что красная часть одного спектра и фиолетовая другого, совпадавшие в *PN* и *MT*, расходятся друг от друга вследствие большего преломления фиолетовой части в *p* и *m* и красной в *n* и *t*, соответственно степеням преломляемости.

Я освещал также маленький круглый кусок белой бумаги по всей поверхности смешанным светом обеих призм; когда он освещался красным светом одного спектра и глубоким фиолетовым другого, так что при смешении этих цветов кружок казался по всей поверхности пурпуровым, я рассматривал бумагу сначала на малом расстоянии, затем на большем через третью призму;

когда я отходил от бумаги, то ее преломленное изображение разделялось все больше и больше, вследствие неодинакового преломления двух смешанных цветов, и наконец разделялось в два отдельных изображения — красное и фиолетовое, причем фиолетовое изображение было дальше от бумаги, т. е. испытывало наибольшее преломление. Когда убиралась та призма у окна, которая отбрасывала фиолетовый свет на бумагу, то фиолетовое изображение исчезало; если убиралась другая призма — исчезало красное изображение, что показывает, что эти два изображения были не чем иным, как светом от двух призм, смешанным в пурпур на бумаге; этот свет разделялся вследствие неравных преломлений в третьей призме, через которую рассматривалась бумага. Наблюдалось также, что если одна из призм у окна, положим, та, которая отбрасывала фиолетовый свет на бумагу, поворачивалась вокруг своей оси таким образом, чтобы все цвета в таком порядке — фиолетовый, индиго, синий, зеленый, желтый, оранжевый, красный — падали последовательно на бумагу от призмы, то изображение, бывшее ранее фиолетовым, изменяло соответственно окраску, переходя последовательно в индиго, синий, зеленый, желтый и красный; при изменении цвета изображение все ближе и ближе подходило к красному изображению, образуемому другой призмой; в случае красного цвета оба изображения полностью совпадали.

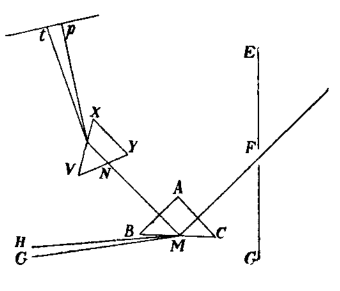
Я помещал также два бумажных круга очень близко один к другому, один освещался красным светом одной призмы, другой — фиолетовым светом второй призмы. Каждый круг имел один дюйм в диаметре, стена за ними была темной, для того чтобы опыт не искажался светом, идущим от стены. Круги, освещенные таким образом, я рассматривал через призму, которую держал так, чтобы преломление могло происходить по направлению к красному кругу; когда я отходил от кругов, они приближались друг к другу и при достаточном удалении совпадали; отходя после этого еще дальше, я видел, что они снова расходились в обратном порядке: фиолетовый круг вследствие большего преломления переносился за красный,

Опыт 8. Летом, когда солнечный свет бывает самым сильным, я поместил призму у отверстия оконной ставни, как в третьем опыте, однако так, что ось ее была параллельной оси мира; у противоположной стены в преломленном свете солнца я поставил открытую книгу. Затем, отойдя на шесть футов и два дюйма от книги, я поместил там упомянутую выше линзу, посредством которой свет, отраженный от книги, делается сходящимся и собирается снова на расстоянии шести футов и двух дюймов за линзой, где рисует изображение книги на листе белой бумаги подобно тому, как и во втором опыте. Закрепив книгу и линзу, я отметил то место, где при освещении книги полным красным светом солнечного изображения, падающего на нее, на бумаге получается наиболее отчетливое изображение букв книги; затем я выжидал, пока благодаря движению солнца и, следовательно, движению изображения книги все цвета от красного до середины синего проходили по буквам; когда буквы освещались синим, я снова отмечал положение бумаги, при котором отбрасывается наиболее отчетливое изображение букв, и я нашел, что это последнее положение бумаги было ближе к линзе, чем ее прежнее положение, приблизительно на два с половиною или два и три четверти дюйма. Настолько скорее, следовательно, собирается и встречается свет фиолетового конца изображения, вследствие большего преломления, чем свет красного конца. В этом опыте комната затемнялась настолько, насколько я мог это сделать, ибо если эти цвета растворяются и ослабляются примесью постороннего света, то расстояние между двумя положениями бумаги не будет столь большим. Это расстояние во втором опыте, где использовались цвета естественных тел, было равно только полутора дюймам вследствие несовершенства этих цветов. Здесь же в цветах призмы, которые, очевидно, более полны, интенсивны и живы, чем цвета естественных тел, расстояние было два дюйма и три четверти. Я не сомневаюсь, что расстояние будет значительно больше, если цвета будут еще полнее, ибо окрашенный свет призмы вследствие наложения кругов, изображенного во второй фигуре пятого

опыта, а также благодаря свету очень ярких облаков вблизи солнечного тела, смешивающемуся с этими цветами, и вследствие света, рассеиваемого неоднородностями в полировке призмы, был столь сложен, что изображения, отбрасываемые такими слабыми и темными цветами, как индиго и фиолетовый, не были достаточно ясными для хорошего наблюдения.

Опыт 9. Я помещал призму, углы которой при основании равнялись половине прямого и были равны между собою, а третий угол был прямым, в пучок солнечного света, впускавшегося в темную комнату через отверстие в оконной ставне, как в третьем опыте. Медленно поворачивая призму вокруг ее оси до тех пор, пока весь свет, который ранее проходил через один из ее углов и преломлялся ею, не отражался от ее основания, через которое до сих пор он выходил из стекла, я наблюдал, что те лучи, которые претерпевают наибольшее преломление, скорее отражаются, чем остальные. Я заключил отсюда, что наиболее преломляемые лучи отраженного света первые становятся обильнее других при полном отражении, после чего и остальные также, вследствие полного отражения, становятся столь же обильными, как первые. Для того чтобы проверить это, я пропускал отраженный свет через другую призму, в которой он преломлялся и после этого падал на лист белой бумаги, помещенный на некотором расстоянии сзади, и отбрасывал обычные цвета призмы. Поворачивая затем первую призму вокруг ее оси, как и выше, я наблюдал, что в том случае, когда лучи, претерпевающие наибольшее преломление в призме и кажущиеся синими и фиолетовыми, начинали полностью отражаться, то синий и фиолетовый свет на бумаге, более всего преломляющийся во второй призме, заметно увеличивался в сравнении с менее преломляемым красным и желтым светом; когда после этого и остальной, зеленый, желтый и красный свет начинал полностью отражаться в первой призме, то соответствующие цвета на бумаге возрастали так же, как прежде фиолетовый и синий. Отсюда явствует, что пучок света, отраженный у основания призмы и усиливающийся

сначала в отношении более преломляемых лучей, а затем и менее преломляемых, состоит из лучей различной преломляемости. Ни один человек никогда не сомневался, что весь такой отраженный свет имеет ту же природу, как и солнечный свет до его падения на основание призмы; обычно предполагается, что свет не претерпевает никаких изменений в своих модификациях и свойствах при подобных отражениях. Я не обращал здесь внимания на какие-либо преломления, происходящие по сторонам первой призмы, так как свет входит в призму перпендикулярно первой грани и выходит перпендикулярно второй грани и поэтому не испытывает преломления. Таким образом падающий свет солнца — того же характера и строения, как и выходящий свет; последний же составлен из лучей различной преломляемости, поэтому и падающий свет должен быть составлен так же.



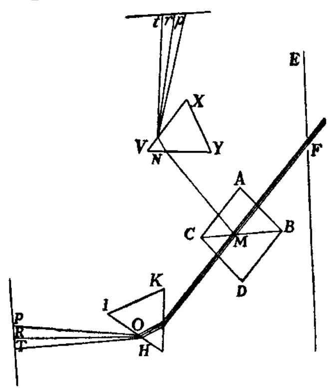
Фиг. 21.

Пояснение. На двадцать первой фигуре ABC — первая призма, BC — ее основание, B и C — равные углы при основании, каждый в 45 градусов, A — прямоугольная вершина, FM—пучок солнечного света, пропускаемый в темное помещение через отверстие F шириною в треть дюйма, M — место падения на основание призмы, MG — менее преломляемый луч, MH — более преломляемый луч, MN — пучок света, отраженного от основания, VXY — вторая призма, проходя через которую пучок света преломляется, Nt — менее преломленный свет пучка, Np — более преломленный. Когда первая призма ABC поворачивается вокруг оси соответственно порядку букв A, B, C, то лучи MH выходят все более отлого из призмы, и наконец после наиболее отлогого выхода они отражаются к N и, приходя в p, увеличивают число лучей Nt. После этого при дальнейшем движении первой призмы

лучи MG также отражаются в N и увеличивают число лучей Nt. Поэтому в состав света MN сначала попадают более преломляемые лучи и затем менее преломляемые; после такого присоединения лучей свет MN имеет ту же природу, как и непосредственный свет солнца FM; отражение у зеркального основания BC не вносит никаких изменений.

Опыт 10. Я соединил две призмы одинаковой формы вместе, так что их оси и противоположные грани были параллельны и они составляли параллелепипед. Когда солнечный свет светил внутрь моей темной комнаты через малое отверстие в оконной ставне, я поставил этот параллелепипед в пучок света на некотором расстоянии от отверстия в такое положение, что оси призм были перпендикулярны к лучам, которые падали на первую грань одной призмы, проходили через две соприкасающиеся грани обеих призм и выходили из последней грани второй призмы. Так как эта грань параллельна первой грани первой призмы, то выходящий свет параллелен падающему. Далее, за этими двумя призмами я ставил третью, которая могла преломлять выходящий свет и посредством этого преломления отбрасывала обычные цвета призмы на противоположную стену или же на лист белой бумаги, помещаемый на подходящем расстоянии за призмой, для того чтобы на него падал преломленный свет. После этого я вращал параллелепипед вокруг его оси и нашел, что в том случае, когда соприкасающиеся грани двух призм становились настолько наклонными к падающим лучам, что все лучи начинали от них отражаться, то лучи, претерпевавшие в третьей призме наибольшее преломление и освещавшие бумагу фиолетовым и синим светом, первые исчезали благодаря полному отражению из проходящего света, остальные же лучи оставались и окрашивали бумагу в свои цвета — зеленый, желтый, оранжевый и красный, как и прежде; при дальнейшем движении двух призм остальные лучи также, вследствие полного отражения, исчезали по порядку, соответственно их степеням преломляемости. Следовательно, свет, выходящий из двух призм, слагается из различно преломляемых

лучей ввиду того, что более преломляемые лучи могут быть от него отнятыми, менее же преломляемые остаются. Но этот свет, проходящий только через параллельные поверхности двух призм, если и претерпевает какое-либо изменение на одной поверхности вследствие преломления, то теряет его при обратном преломлении на другой поверхности и, восстанавливаясь таким образом в своем первоначальном строении, приобретает ту же природу и условия, как вначале, до падения на призмы; поэтому и до падения свет так же был составлен из лучей различной преломляемости, как и после этого.



Фиг. 22.

Пояснение. На фигуре двадцать второй ABC и BCD—две призмы, связанные вместе в форме параллелепипеда; их грани BC и CB соприкасаются, грани же AB и CD — параллельны. HIK — третья призма, посредством которой солнечный свет, распространяясь через отверстие F внутрь темной комнаты и проходя через грани призм AB, BC, CB и CD, преломляется в O к белой бумаге PT, падая здесь частью в P вследствие большего преломления, частью в T вследствие меньшего преломления и частью в R и другие промежуточные места вследствие промежуточных преломлений. При вращении параллелепипеда $ACBD$ вокруг его оси в направлении порядка букв A, C, D, B при достаточном наклоне соприкасающихся плоскостей BC и CB к лучам FM, падающим на них в месте M, в преломленном свете OPT будут полностью исчезать сначала наиболее преломленные лучи OP (остальные: OR и OT остаются, как и прежде), далее лучи OR и другие промежуточные лучи и, наконец, наименее преломленные лучи OT, ибо при достаточном

наклоне плоскости *BC* к падающим лучам последние начинают полностью отражаться к *N*; сначала вполне отражаются наиболее преломляемые лучи (как было объяснено в предыдущем опыте); они исчезают, следовательно, первыми в *P*, затем по порядку отражаются полностью к *N* и остальные лучи; в том же порядке они исчезают у *R* и *T*. Таким образом лучи, претерпевающие в *O* наибольшее преломление, могут быть извлечены из света *MO*, остальные же лучи в нем остаются, и следовательно, свет *MO* составлен из лучей различной преломляемости. И так как плоскости *AB* и *CD* параллельны и поэтому уничтожают одна действие другой вследствие равных и противоположных преломлений, то падающий свет *FM* должен быть того же типа и природы, как и выходящий свет *MO*, и, следовательно, должен также состоять из лучей различной преломляемости. В пределах моих наблюдений эти два света *FM* и *MO* до отделения наиболее преломляемых лучей из выходящего света *MO* имеют одинаковый цвет и все другие свойства и поэтому по праву могут считаться одной природы и строения, и следовательно, один составлен так же, как и другой. Но после того, как наиболее преломляемые лучи начинают полностью отражаться и, следовательно, выделяться из выходящего света *MO*, этот последний меняет свой цвет последовательно из белого в размытый и слабый желтый, весьма хороший оранжевый, очень полный красный и затем совершенно исчезает. Ибо после того как наиболее преломляемые лучи, окрашивающие бумагу в *P* в пурпуровый цвет, извлекаются вследствие полного отражения из пучка света *MO*, остающиеся цвета, видимые на бумаге в местах *R* и *T*, смешиваясь в свете *MO*, составляют слабый желтый цвет; после того как извлекаются синий цвет и часть зеленого, видимые на бумаге между *P* и *R*, остающиеся лучи, видимые между *R* и *T* (т. е. желтый, оранжевый, красный и немного зеленого), смешиваясь в пучке *MO*, составляют там оранжевый; когда же все лучи, за исключением наименее преломляемых, кажущихся в *T* полными красными, извлекаются из пучка *MO*, то пучок *MO* будет окрашен в тот же пол-

ный красный цвет, как и место T: преломление в призме HIK служит только для отделения различно преломляемых лучей, не производя каких-либо изменений в их цвете, как будет доказано более подробно после этого. Все это подтверждает как первое, так и второе предложения.

Поучение. Если этот опыт соединить с предыдущим и произвести его, применяя четвертую призму VXY (фиг. 22) для преломления отраженного пучка MN к tp, то заключение станет еще яснее. Ибо в этом случае свет Np, наиболее преломляющийся в четвертой призме, станет полнее и сильнее, когда свет OP, наиболее преломляющийся в третьей призме HIK, исчезнет в P; далее, при исчезновении менее преломляемого света OT в T, менее преломляемый свет Nt станет усиливаться, в то время как более преломленный свет в p уже не получает дальнейшего приращения. И подобно тому, как проходящий пучок MO, исчезая, приобретает такую окраску, которая получается из смеси цветов, падающих на бумагу PT, так и отраженный пучок MN всегда имеет такую окраску, которая получается от смешения цветов, падающих на бумагу pt. Ибо если наиболее преломляемые лучи, вследствие полного отражения, извлекаются из пучка MO и пропускается пучок оранжевой краски, то избыток этих лучей в отраженном свете не только сделает фиолетовый, индиго и синий в p более полными, но также изменит окраску пучка MN из желтоватого солнечного света в беловатый, склонный к синему, и затем снова превратит в желтоватую окраску, по мере того как начнет отражаться остающийся, пропускаемый свет MOT[25].

Эти опыты производились в отраженном свете, получаемом от естественных тел, как в первом и втором опытах, или от зеркал, как в девятом опыте, или в свете преломленном; притом опыты делались либо до того, как неодинаково преломленные лучи разойдутся, отделяемые один от другого, теряя свою белизну, которой они обладают все вместе, и являясь каждый со своей окраской, как в пятом опыте, или же после того, как лучи

отделились один от другого и кажутся окрашенными, как в шестом, седьмом и в восьмом опытах; производились опыты и в свете, проходящем через параллельные поверхности, уничтожающие одна действие другой, как в опыте десятом. Мы видим теперь, что во всем этом разнообразии опытов всюду находились лучи, претерпевающие при одинаковых падениях на одну и ту же среду неравные преломления, притом без расщепления или расширения отдельного луча или случайных неравенств преломления, как доказано в пятом и шестом опытах[26]. Мы видим далее, что лучи различной преломляемости могут быть отобраны и отделены один от другого или помощью преломления, как в опыте третьем, или же помощью отражения, как в опыте десятом; различные сорта лучей в отдельности при равных падениях испытывают неравные преломления, причем те сорта преломляются после разделения больше остальных, которые преломлялись больше до разделения, как в опыте шестом и следующих; далее, если солнечный свет проходит через три или большее число перекрещенных призм последовательно, то лучи, преломляющиеся больше других в первой призме, преломляются больше других и в следующих призмах по тому же правилу и пропорции, как явствует из опыта пятого; отсюда ясно, что солнечный свет является разнородной смесью лучей, из которых некоторые постоянно преломляются больше, чем другие, как и было предположено[27].

ПРЕДЛОЖЕНИЕ III. Теорема III.

Солнечный свет состоит из лучей, различающихся по отражаемости, причем более других отражаются те лучи, которые более преломляемы.

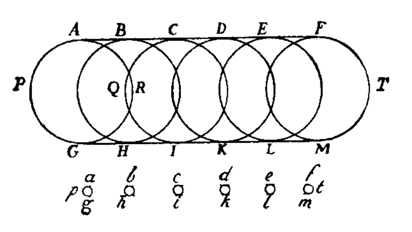
Это ясно из опытов девятого и десятого: в девятом опыте призма вращалась вокруг ее оси до тех пор, пока лучи внутри нее, ранее выходившие в воздух и преломлявшиеся в основании, не становились столь наклонными к основанию, что начинали полностью от него отражаться; при этом те лучи отражались полностью пер-

выми, которые до этого при равных падениях с остальными испытывали наибольшее преломление. То же самое происходит при отражении от общего основания двух призм в десятом опыте[28].

ПРЕДЛОЖЕНИЕ IV. Задача I.

Отделить один от другого неоднородные лучи сложного света.

Неоднородные лучи отделялись один от другого в некоторой мере при преломлении в призме в третьем опыте; при устранении полутени в пятом опыте от прямолинейных сторон цветного изображения разделение лучей на этих очень прямых сторонах или краях становилось превосходным. Однако между прямолинейными краями бесчисленные круги, описанные выше, различно освещаемые однородными лучами, налагаясь один на другой и повсюду смешиваясь, делали свет достаточно сложным. Но если уменьшить эти круги в диаметре, сохраняя их расстояния и положения, то перекрещивание их друг с другом и, следовательно, смешение разнородных лучей пропорционально уменьшится. Пусть *AG, BH, CI, DK, EL, FM* на фигуре двадцать третьей — круги, освещаемые в третьем опыте соответственными сортами лучей, идущими от того же солнечного диска; все они и бесчисленные другие промежуточные круги ложатся непрерывным рядом между двумя прямолинейными и параллельными краями удлиненного изображения солнца *PT*; это изображение составлено так, как объяснено в опыте пятом. Пусть *ag, bh, ci, dk, el, fm* — такое же число меньших кругов, расположенных подобным же непрерывным рядом между двумя параллельными прямыми линиями



Фиг. 23.

af и *gm*, с теми же расстояниями между их центрами и освещаемых теми же сортами лучей, т. е. круг *ag* освещается тем же сортом лучей, как и соответствующий круг *AG*; круг *bh* — тем же сортом, как и круг *BH*, остальные круги: *ci*, *dk*, *el*, *fm* соответственно освещаются такими же сортами лучей, как и различные круги *CI*, *DK*, *EL*, *FM*. В фигуре *PT*, составленной из больших кругов, три из них: *AG*, *BH*, *CI* настолько распространяются один в другой, что три сорта лучей, освещающих эти круги, вместе с другими бесчисленными сортами промежуточных лучей смешиваются в *QR* в середине круга *BH*. Подобное же смешение происходит почти по всей длине фигуры *PT*. Но на фигуре *pt*, составленной из меньших кругов, три меньших круга: *ag*, *bh*, *ci*, соответствующие трем большим, не заходят один в другой; здесь нигде два из трех сортов лучей, освещающих эти круги, не смешиваются, как на фигуре *PT*, где такое смешение всех трех сортов лучей происходит в *BH*.

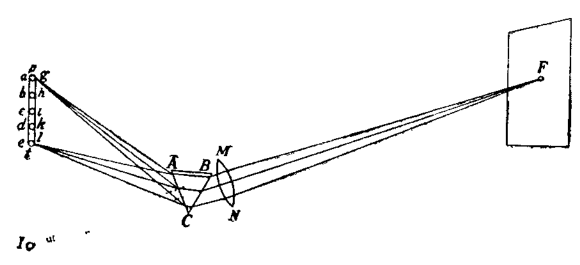
Тот, кто примет это во внимание, легко поймет, что смешение уменьшается в той же пропорции, как и диаметры кругов. Если диаметры кругов при тех же центрах взять в три раза меньшими, чем раньше, то и смешение будет в три раза меньше; если диаметры в десять раз меньше, то смешение будет в десять раз меньше, и так же в случае других пропорций. То-есть смешение лучей в большей фигуре *PT* относится к смешению в меньшей фигуре *pt*, как ширина большей фигуры к ширине меньшей, ибо ширина этих фигур равна диаметрам их кругов. Отсюда легко вывести, что смешение лучей в преломленном спектре *pt* относится к смешению лучей в прямом и непосредственном свете солнца, как ширина этого спектра относится к разности между длиною и шириною того же спектра.

Таким образом, если мы хотим уменьшить смешение лучей, то нужно уменьшить диаметры кругов. Они уменьшились бы, если бы диаметр солнца, им соответствующий, стал меньше, чем он есть, или (что приводит к тому же) если бы снаружи на большом расстоянии от призмы на пути солнца поставить какое-нибудь темное

тело с круглым отверстием посредине, задерживающее весь солнечный свет за исключением проходящего через отверстие в середине к призме, ибо круги *AG*, *BH* и остальные уже не будут больше соответствовать полному диску солнца, но только той его части, которая видна из призмы через отверстие, или кажущейся величине отверстия, видимой от призмы. Но для того, чтобы круги более точно соответствовали отверстию, нужно поставить около призмы линзу, отбрасывающую отчетливое изображение отверстия (т. е. каждый из кругов *AG*, *BH* и т. д.) на бумагу в *PT* таким же образом, как при помощи линзы, поставленной у окна, изображения наружных предметов отчетливо отбрасываются на бумагу внутри комнаты и прямолинейные стороны удлиненного солнечного изображения в опыте пятом становятся отчетливыми, без полутени. Если сделать так, то нет нужды ставить отверстие очень далеко и за окном. Поэтому вместо такого отверстия я воспользовался отверстием в оконной ставне следующим образом.

Опыт 11. На пути солнечного света, впускавшегося в мою затемненную комнату через малое круглое отверстие в оконной ставне, в десяти или двенадцати футах от окна я ставил линзу, которая могла отбрасывать отчетливое изображение отверстия на лист белой бумаги, помещенный на расстоянии шести, восьми, десяти или двенадцати футов от линзы, ибо соответственно различию линз я применял различные расстояния, на описание которых, я полагаю, не стоит тратить времени. Затем непосредственно за линзой я ставил призму, которая могла преломлять проходящий свет вверх или в сторону, благодаря чему круглое изображение, отбрасываемое одной линзой на бумагу, вытягивалось в длинное изображение с параллельными сторонами, как в опыте третьем. Я заставлял это удлиненное изображение падать на другую бумагу на том же почти расстоянии от призмы, как и раньше, передвигая бумагу то к призме, то от нее до тех пор, пока не находил правильного расстояния, где прямолинейные стороны изображения становились наиболее отчетливыми. Ибо в этом случае круглые изображе-

ния отверстия, составляющие удлиненное изображение, так же, как круги *ag*, *bh*, *ci* и т. д. на фигуре *pt* (фиг. 23), выделяются наиболее отчетливо без всякой полутени и потому меньше всего заходят один за другой, и следовательно, смешение разнородных лучей теперь наименьшее. Таким способом я получал удлиненное изображение (такое же, как *pt* на фиг. 23 и 24) круглых изображений отверстия (*ag*, *bh*, *ci* и т. д.) и, пользуясь бо́льшим или

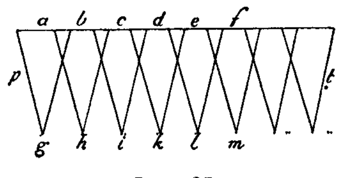


Фиг. 24.

меньшим отверстием в оконной ставне, мог по желанию увеличивать или уменьшать круглые изображения *ag*, *bh*, *ci* и т. д., образующие удлиненное изображение, и поэтому смешивал лучи в изображении *pt* больше или меньше, по желанию.

Пояснение. На фигуре двадцать четвертой *F* представляет круглое отверстие в оконной ставне, *MN* — линзу, отбрасывающую отчетливое изображение отверстия на бумагу в *I*, *ABC* — призму, посредством которой лучи, выходящие из линзы, преломляются из *I* к другой бумаге в *pt* и круглое изображение в *I* превращается в удлиненное изображение *pt*, падающее на другую бумагу. Это изображение *pt* состоит из кругов, расположенных один за другим в прямолинейном порядке, как это достаточно было объяснено в опыте пятом; эти круги равны кругу *I* и, следовательно, соответствуют по величине отверстию *F*; уменьшая отверстие, можно, следовательно, по желанию уменьшить эти круги, оставляя их центры на прежних местах. Таким способом я получал ширину изображения в сорок раз, а иногда в шестьдесят и семь-

десят раз меньшую, чем длину. Если, например, ширина отверстия F — одна десятая дюйма, расстояние MF линзы от отверстия — 12 футов, если, далее, расстояние pB или pM изображения pt от призмы или линзы равно 10 футам, преломляющий угол призмы — 62 градусам, то ширина изображения pt будет одна двенадцатая дюйма, длина же — около шести дюймов, и поэтому длина относится к ширине, как 72 к 1, и следовательно, свет этого изображения в 71 раз менее смешан, чем прямой свет солнца. Свет настолько простой и однородный достаточен для производства опытов над простым светом, описанных в этой книге, ибо смешанность разнородных лучей такого света так мала, что ее едва можно открыть и заметить глазом, за исключением, может быть, индиго и фиолетового цвета, так как эти темные цвета легко претерпевают заметное искажение вследствие примеси слабого рассеянного света, обычно неправильно преломляемого вследствие неоднородностей в призме.



Фиг. 25.

Однако вместо круглого отверстия F лучше брать удлиненное отверстие, имеющее форму, подобную длинному параллелограмму, длина которого параллельна призме ABC, ибо если это отверстие будет длиною один или два дюйма и шириною только в одну десятую или двадцатую часть дюйма или еще уже, то свет изображения pt будет столь же простым, как и прежде, или еще проще, изображение же станет значительно шире и, следовательно, более пригодно для опытов, чем прежде.

Вместо такого параллелограмма можно взять треугольное отверстие с равными сторонами с основанием, например, около десятой части дюйма и с высотою в дюйм или более. Если ось призмы будет параллельной перпендикуляру треугольника, то таким способом изображение pt (фиг. 25) будет образовано из равносторонних треугольников ag, bh, ci, dk, el, fm и т. д. и других бесчислен-

ных промежуточных треугольников, соответствующих треугольному отверстию по форме и толщине и располагающихся один за другим в непрерывном ряду между двумя параллельными линиями *af* и *gm*. Эти треугольники немного перемешаны у оснований, но не у вершин, и поэтому свет на более ярком краю *af* изображения, где расположены основания треугольников, несколько смешан, на темном же краю *gm* он совершенно не смешан, и во всех местах между краями изображения смешанность пропорциональна расстояниям этих мест от темного края *gm*. Имея спектр *pt* подобного строения, мы можем производить опыты или в ярком, но менее простом свете у края *af*, или в более слабом, но более простом свете вблизи другого края *gm*, смотря по тому, что более удобно [29].

Но для таких опытов нужно, чтобы комната была темной, насколько это возможно, дабы посторонний свет не смешивался со светом спектра *pt* и не делал его сложным, особенно в том случае, когда мы хотим производить опыты в наиболее простом свете, вблизи края спектра *gm*, где свет слабый находится в меньшей пропорции к постороннему свету и поэтому, смешиваясь с ним, искажается более других и делается более сложным. Линза также должна быть хорошей, такой, чтобы она могла служить для оптических целей; призма должна быть с широким углом, например в 65 или 70 градусов, тщательно сработанной, из стекла без пузырьков и жил; грани ее должны быть не выпуклыми или вогнутыми, как это обыкновенно случается, но правильно плоскими; полировка должна быть такой же, как при изготовлении оптических стекол; нельзя ограничиваться только оловянным пеплом, как это делается обыкновенно, причем сглаживаются только края выбоин, оставленных песком, и по всему стеклу остаются бесчисленные группы маленьких выпуклых полированных волнообразных возвышений. Далее, края призмы и линзы, поскольку они также могут производить неправильное преломление, должны быть покрыты приклеенной черной бумагой. Весь свет солнечного пучка, впускаемого внутрь комнаты, являющийся беспо-

лезным и невыгодным для опыта, должен быть задержан черной бумагой или другими черными препятствиями, ибо иначе бесполезный свет, отражаясь всевозможными путями в комнате, смешается с удлиненным спектром и будет способствовать его искажению. При производстве этих опытов такая тщательность требуется не всегда; она, однако, помогает успеху опытов и заслуживает применения со стороны очень осторожного исследователя. Трудно получить призмы, пригодные для такой цели; поэтому я пользовался иногда призматическими сосудами, сделанными из кусков зеркального стекла, наполняемыми дождевой водой. Для увеличения преломления я растворял иногда в воде большое количество *Saccharum Saturni*[30].

ПРЕДЛОЖЕНИЕ V. Теорема IV.

Однородный свет преломляется правильно без всякого расширения, расщепления или рассеяния лучей, и неясное изображение предметов, рассматриваемых через преломляющие тела при помощи неоднородного света, возникает благодаря различной преломляемости различных сортов лучей.

Первая часть этого предложения была уже достаточно доказана в опыте пятом и будет выяснена дальше следующими опытами.

Опыт 12. В середине черной бумаги я сделал круглое отверстие около одной пятой или шестой части дюйма в диаметре. Я заставлял падать на эту бумагу спектр однородного света, описанный в предыдущем предложении, таким образом, что некоторая часть света могла проходить через отверстие в бумаге. Эту пропущенную часть света я преломлял призмой, помещенной за бумагой, заставляя падать перпендикулярно на белую бумагу на расстоянии двух или трех футов от призмы; я нашел, что спектр, образованный на белой бумаге этим светом, не был удлиненным, как при преломлении сложного солнечного света (в опыте третьем), он был совершенно круглым (поскольку я мог судить при помощи моего

глаза), длина была не больше, чем ширина; это показывает, что свет преломляется правильно, без всякого расширения лучей.

Опыт 13. Я помещал в однородном свете бумажный кружок диаметром в четверть дюйма; в непреломленном разнородном белом свете солнца я помещал другой бумажный круг того же диаметра. Отходя от кругов на расстояние нескольких футов, я рассматривал оба круга через призму. Круг, освещаемый разнородным светом солнца, казался весьма удлиненным, как и в опыте четвертом, длина была в несколько раз больше ширины; но другой круг, освещаемый однородным светом, казался круглым и вполне отчетливым, как и при наблюдении простым глазом, что доказывает все предложение.

Опыт 14. Я помещал в однородном свете мух и другие подобные мелкие предметы и, рассматривая через призму, видел их части столь же отчетливыми, как и при наблюдении простым глазом. Я рассматривал также сквозь призму те же предметы, помещенные в непреломленный неоднородный белый свет, и видел крайне неясно, так что не мог отличить их малые части одну от другой. Я помещал также небольшой печатный лист сначала в однородный свет и затем в неоднородный и, рассматривая буквы через призму, видел, что в последнем случае они были столь неясны и неотчетливы, что я не мог их читать; в первом случае, однако, они казались настолько отчетливыми, что я мог бегло читать, и думаю, что видел их так же отчетливо, как и при наблюдении простым глазом. В обоих случаях я рассматривал те же предметы, сквозь ту же призму, на том же расстоянии от меня и в том же положении. Разница была только в отношении света, освещающего предметы, который в одном случае был простым, а в другом сложным; поэтому отчетливая видимость в первом случае и неясность в последнем могли возникать только от различия света, что доказывает все предложение.

В этих трех опытах примечательно, кроме того, то, что цвет однородного света никогда не менялся при преломлении.

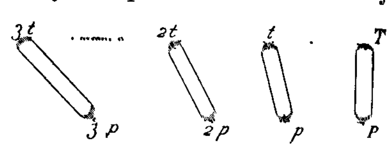
ПРЕДЛОЖЕНИЕ VI. Теорема V.

Синус падения всякого луча, рассматриваемого отдельно, находится в данном отношении к синусу преломления.

Из сказанного уже достаточно ясно, что каждый луч, рассматриваемый отдельно, постоянен в отношении степени преломляемости. Лучи, наиболее преломляемые, при равных падениях, при первом преломлении, преломляются более других и при последующих преломлениях, при равных падениях; то же следует и для наименее преломляемых и остальных лучей со средней степенью преломляемости, как это явствует из опытов пятого, шестого, седьмого, восьмого и девятого. Те лучи, которые сначала, при равных падениях, одинаково преломлялись, преломляются и в дальнейшем, при равных падениях, одинаково и единообразно, происходит ли преломление до разделения лучей одного от другого, как в опыте пятом, или же лучи преломляются отдельно, как в опытах двенадцатом, тринадцатом и четырнадцатом. Поэтому преломление каждого луча в отдельности правильно. Мы покажем теперь, какому правилу следует это преломление [[30a]].

Новейшие писатели по оптике учат, что синусы падения находятся в данном отношении к синусам преломления, как было объяснено в аксиоме пятой [31]. Исследуя на опыте это отношение инструментами, приспособленными для измерения преломлений, или другими способами, некоторые утверждают, что они нашли это отношение точным. Нужно предполагать, что они применяли свои измерения только к среднему преломляемому свету, так как, не предполагая различной преломляемости различных лучей, они считали, что все лучи преломляются согласно одному и тому же отношению. Таким образом по их измерениям можно заключить только, что лучи со средней степенью преломляемости, кажущиеся при отделении зелеными, преломляются соответственно данному отношению их синусов. Поэтому мы должны теперь показать, что подобные же данные отношения получаются и

для всех остальных лучей. Весьма вероятно, что это так, ибо природа всегда подобна себе самой, но все же желательна опытная проверка. Мы получим такую проверку, если покажем, что синусы преломления различно преломляемых лучей находятся один к другому в данном отношении, когда равны их синусы падения. Ибо если синусы преломления всех лучей находятся в данных отношениях к синусу преломления луча со средней степенью преломляемости, а этот синус находится в данной пропорции к равным синусам падения, то и синусы преломления других лучей будут также в данных отношениях к равным синусам падения. Если, теперь, синусы падения равны, то, как будет видно из следующего опыта, синусы преломления находятся в данном отношении один к другому.



Фиг. 26.

Опыт 15. Пусть солнце светит внутрь темной комнаты через малое круглое отверстие в оконной ставне; пусть S (фиг. 26) — круглое белое изображение солнца, отбрасываемое на противоположной стене его прямым светом, PT — его удлиненное цветное изображение, получаемое преломлением света в призме, помещенной у окна; pt, или $2p2t$, или $3p3t$ — удлиненное окрашенное изображение, получаемое преломлением того же света в сторону во второй призме, помещаемой непосредственно за первой в перекрещенном положении к ней, как было объяснено в опыте пятом: pt, когда преломление второй призмы мало, $2p2t$, когда преломление больше, и $3p3t$, когда оно наибольшее, ибо таково будет различие преломлений при различных величинах преломляющего угла

второй призмы; например, для получения изображения pt нужен угол в пятнадцать или двадцать градусов, для изображения $2p2t$ — тридцать или сорок градусов, для изображения $3p3t$ — около шестидесяти градусов. При отсутствии твердых стеклянных призм с углами подходящей толщины можно сделать сосуды из полированных стеклянных пластинок, склеиваемых в виде призм и наполняемых водою. Установив предметы таким образом, я наблюдал, что все солнечные изображения окрашенного спектра PT, pt, $2p2t$, $3p3t$ весьма близко сходятся в месте S, на которое падает прямой свет солнца и на котором, в отсутствии призм, он рисует белое круглое изображение. Ось спектра PT, т. е. линия, проведенная через его середину параллельно его прямым сторонам, проходит при продолжении ее точно через середину белого круглого изображения S. Когда преломление второй призмы было равно преломлению первой, причем преломляющие углы обеих были около 60 градусов, то ось спектра $3p3t$, получаемого таким преломлением, проходила при продолжении также через середину того же белого круглого изображения S. Когда, однако, преломление второй призмы было меньше, чем первой, то продолжения осей спектров pt или $2p2t$, получаемых таким преломлением, пересекали продолжение спектра TP в точках m и n несколько выше центра белого круглого изображения S. Поэтому отношение линии $3tT$ к линии $3pP$ было немного больше, чем отношение $2tT$ к $2pP$, последнее же отношение несколько больше, чем отношение tT к pP. Если, теперь, свет спектра PT падает перпендикулярно на стену, то линии $3tT$, $3pP$ и $2tT$, $2pP$ и tT, pP будут тангенсами преломления [32]; поэтому из опыта получаются отношения тангенсов преломлений, откуда можно вывести отношения синусов; они получаются равными, поскольку я могу судить по наблюдениям спектров и применяя некоторые математические рассуждения, но точного расчета я не производил.

Таким образом, предложение верно для каждого луча в отдельности, поскольку это явствует из опыта. Точную справедливость этого можно доказать, предполагая,

что тела преломляют свет, действуя на его лучи по линиям, перпендикулярным к поверхности тела. Но для доказательства этого я должен разделить движение каждого луча на два движения: одно—перпендикулярное к преломляющей поверхности, другое — ей параллельное, и в отношении перпендикулярного движения высказать такое предложение.

Если какое-либо движение или какой угодно движущийся предмет падает с некоторой скоростью на широкое и тонкое пространство, ограниченное с обеих сторон двумя параллельными плоскостями, и при своем прохождении через это пространство подвергается в направлении, перпендикулярном к следующей плоскости, действию некоторой силы, имеющей данную величину на данном расстоянии от плоскости, то перпендикулярная скорость этого движения или предмета при выходе из данного пространства будет всегда равна корню квадратному из суммы квадрата перпендикулярной скорости этого движения или предмета при падении на это пространство и квадрата перпендикулярной скорости того же движения или предмета, которая имелась бы при выходе, если бы при падении перпендикулярная скорость была бесконечно мала.

То же предложение справедливо для всякого движения или вещи, замедляемых в перпендикулярном направлении при их движении через это пространство, если вместо суммы двух квадратов взять их разность. Математики легко найдут доказательство, поэтому я не буду утруждать им читателя [33].

Предположим теперь, что луч, идущий чрезвычайно отлого по линии MC (фиг. 1), преломляется в C плоскостью RS в линию CN, и требуется найти линию CE, по которой преломится другой луч AC. Пусть MC и AD — синусы падения двух лучей, NG, EF — их синусы преломления, и пусть равные движения падающих лучей представляются равными линиями MC и AC, причем движение MC будем рассматривать как параллельное преломляющей поверхности; разделим другое движение AC на два движения: AD и DC, одно из которых — AD —

параллельно, другое — DC — перпендикулярно к преломляющей поверхности. Подобным же образом пусть движения выходящих лучей разделяются на два, причем перпендикулярные движения будут $\frac{MC}{NG}\cdot CG$ и $\frac{AD}{EF}\cdot CF$[34]. Если сила преломляющей плоскости начинает действовать на лучи или в самой плоскости или в некотором расстоянии от нее с одной стороны и кончает действовать на некотором расстоянии от нее с другой стороны и во всех местах между этими двумя пределами действует на лучи по линиям, перпендикулярным к преломляющей плоскости, причем действия на лучи на равных расстояниях от преломляющей плоскости одинаковы, на разных же расстояниях одинаковы или различны, соответственно существующим отношениям, то движение луча, параллельного преломляющей плоскости, не претерпит изменений под действием силы, движение же, перпендикулярное к поверхности, изменится соответственно правилу предыдущего предложения. Если поэтому для перпендикулярной скорости выходящего луча CN вы напишете, как было сказано выше, $\frac{MC}{NG}\cdot CG$, тогда перпендикулярная скорость всякого другого выходящего луча, которая равнялась $\frac{AD}{EF}\cdot CF$, будет равной квадратному корню из $CDq+\frac{MCq}{NGq}\cdot CGq$[35]. Возводя в квадрат эти равные части, складывая с ними равные значения ADq и $MCq-CDq$ и разделяя суммы на равные выражения $CFq+EFq$ и $CGq+NGq$, вы найдете, что $\frac{ADq}{EFq}$ равно $\frac{MCq}{NG_q}$. Отсюда AD, синус падения, так относится к EF, синусу преломления, как MC к NG, т. е. они находятся в данном отношении. Это доказательство общее, не требуется определения того, что такое свет или какого рода силою он преломляется, не нужно предполагать ничего другого, кроме того, что преломляющее тело действует на лучи по линиям, перпендикулярным к его поверхности; я считаю

это доказательство весьма убедительным аргументом в пользу полной справедливости данного предложения [16].

Таким образом, если хотя бы в одном случае дано *отношение* синусов падения и преломления для какого-нибудь сорта лучей, то оно дается для всех случаев; это будет яснее с помощью метода следующего предложения.

ПРЕДЛОЖЕНИЕ VII. Теорема VI.

Усовершенствованию телескопов препятствует различная преломляемость лучей света.

Несовершенство телескопов обыкновенно приписывается сферической форме стекол, и поэтому математики предложили отшлифовывать стекла по коническим сечениям. Для того чтобы показать их ошибку, я включил настоящее предложение, справедливость которого будет ясна из величин преломлений различных сортов лучей, причем эти величины я определяю так:

В третьем опыте первой книги, где преломляющий угол призмы был $62\,{}^1/_2$ градуса, половина этого угла — 31 градус 15 мин. — является углом падения лучей при выходе их из стекла в воздух, синус этого угла — 5188 при радиусе 10 000. Когда ось этой призмы была параллельной горизонту и преломление лучей при их падении на призму равнялось преломлению при выходе из нее, я наблюдал при помощи квадранта угол, образуемый лучами средней преломляемости (т. е. теми, которые приходили к середине окрашенного изображения солнца) с горизонтом; из этого угла и высоты солнца, наблюдаемой одновременно, я нашел, что угол, образуемый выходящими лучами с падающими, был 44 градуса и 40 минут; половина этого угла, сложенная с углом падения, — 31 град. 15 мин. — дает угол преломления, равный поэтому 53 град. 35 мин., синус его — 8047. Таковы синусы падения и преломления лучей средней преломляемости; их отношение в круглых числах — 20 к 31. Стекло этой призмы было зеленоватого цвета. Последняя призма, упоминаемая в опыте третьем, была из чистого

белого стекла. Ее преломляющий угол — 63 $^1/_2$ градуса. Угол, образуемый выходящими лучами с падающими,— 45 град. 50 мин. Синус половины первого угла — 5262. Синус половины суммы углов — 8157. Их отношение в круглых числах — 20 к 31, как и прежде.

Если вычесть из длины изображения, которая была около 9 $^3/_4$ или 10 дюймов, его ширину, которая была 2 $^1/_8$ дюйма, то остаток 7 $^3/_4$ дюйма был бы длиною изображения, если бы солнце было точкой; эта длина, следовательно, стягивает угол при выходе из призмы между наиболее и наименее преломляемыми лучами, падающими на призму по одинаковому направлению. Следовательно, этот угол — 2 градуса 0′7″, ибо расстояние между изображением и призмой, где образуется угол, было 18 $^1/_2$ футов; при этом расстоянии хорда в 7 $^3/_4$ дюйма стягивает угол в 2 град. 0′7″. Половина этого угла является углом, образуемым этими выходящими лучами с выходящим лучом средней преломляемости, четверть же этого угла, т. е. 30′2″, может считаться углом, который составили бы эти лучи с теми же выходящими лучами средней преломляемости, если бы внутри стекла все лучи совпадали и испытывали преломление только при выходе. Ибо если два равных преломления, одно при падении лучей на призму, другое при их выходе, дают половину угла 2 град. 0′7″, тогда одно из этих преломлений дает около четверти; прибавляя и вычитая эту четверть из угла преломления лучей средней преломляемости, который был 53 град. 35′, получаем углы преломления наиболее и наименее преломляемых лучей — 54 град. 5′2″ и 53 град. 4′58″, синусы которых — 8099 и 7995, общий угол падения — 31 град. 15′, синус его 5188; эти синусы в наименьших круглых числах находятся в отношении друг к другу, как 78 и 77 к 50 [37].

Если вы теперь вычтете общий синус падения 50 из синусов преломления 77 и 78, то остатки 27 и 28 показывают, что при малых преломлениях преломление [38] наименее преломляемых лучей относится к преломлению наиболее преломляемых приблизительно как 27 к 28,

и разность преломлений наименее преломляемых и наиболее преломляемых лучей является приблизительно 27 $^1/_2$-й частью всего преломления лучей средней преломляемости.

Те, кто сведущ в оптике, легко поймут отсюда [38а], что ширина наименьшего круглого пространства, в котором объективные стекла телескопов могут собирать все сорта параллельных лучей, будет приблизительно 27 $^1/_2$-й частью половины отверстия стекла, или 55-й частью полного отверстия, и что фокус наиболее преломляемых лучей будет ближе к объективному стеклу, чем фокус наименее преломляемых лучей, приблизительно на 27 $^1/_2$-ю часть расстояния между объективным стеклом и фокусом лучей средней преломляемости [39].

Если лучи всех сортов, идущие от некоторой светящейся точки, расположенной на оси выпуклой линзы, сходятся вследствие преломления линзы в точках, не слишком удаленных от линзы, то фокус наиболее преломляемых лучей будет ближе к линзе, чем фокус наименее преломляемых лучей, на расстояние, которое весьма точно относится к 27$^1/_2$-й части расстояния фокуса лучей средней преломляемости от линзы, как расстояние между фокусом и светящейся точкой, от которой идут лучи, относится к расстоянию между светящейся точкой и линзой [40].

Для исследования того, является ли разность преломлений, испытываемых в объективных стеклах телескопов и других подобных стеклах наиболее и наименее преломляемыми лучами, идущими из той же точки, такой величины, как здесь описано, я придумал следующий опыт.

Опыт 16. Линза, которой я пользовался во втором и восьмом опытах, помещалась на расстоянии шести футов и одного дюйма от предмета, собирая изображение предмета при помощи лучей средней преломляемости на расстоянии шести футов и одного дюйма от линзы с другой стороны. Поэтому, согласно предыдущему правилу, изображение предмета наименее преломляемыми лучами должно собираться на расстоянии шести футов

и $3^2/_3$ дюйма от линзы, изображение же наиболее преломляемыми лучами — на расстоянии пяти футов и $10^1/_3$ дюйма от нее; таким образом, между двумя местами, где дают изображение наименее и наиболее преломляемые лучи, должно быть расстояние около $5^1/_3$ дюйма. Ибо, согласно предыдущему правилу, шесть футов один дюйм (расстояние линзы от светящейся точки) относится к двенадцати футам и двум дюймам (расстоянию светящегося предмета от фокуса лучей средней преломляемости), т. е. один относится к двум, как $27^1/_2$-я часть шести футов и одного дюйма (расстояние между линзой и фокусом) относится к расстоянию между фокусом наиболее преломляемых лучей и фокусом наименее преломляемых лучей, которое поэтому равно $5^{17}/_{55}$ дюйма, т. е. приблизительно $5^1/_3$ дюйма. Чтобы узнать, правилен ли этот расчет, я повторил второй и восьмой опыты с окрашенным светом, менее сложным, чем тот, которым я пользовался раньше, ибо я отделил теперь неоднородные лучи один от другого методом, описанным в опыте одиннадцатом, получая окрашенный спектр, длина которого была приблизительно в двенадцать или пятнадцать раз больше ширины. Я отбрасывал этот спектр на печатную книгу и, помещая вышеупомянутую линзу на расстояние шести футов и одного дюйма от спектра, так, чтобы получить изображение освещенных букв на том же расстоянии с другой стороны, нашел, что изображения букв, освещаемых синим, были ближе к линзе, чем изображения, освещаемые глубоким красным, на расстояние около трех дюймов или трех с четвертью; но изображения букв, освещаемых индиго или фиолетовым, были столь неясными и неотчетливыми, что я не мог их читать. Рассматривая после этого призму, я нашел, что в ней всюду, с одного конца стекла к другому, пробегали жилы, так что преломление не могло быть правильным. Я взял поэтому другую призму без жил и вместо букв воспользовался двумя или тремя параллельными черными линиями, которые были несколько шире, чем линии букв; отбрасывая цвета на эти линии так, чтобы линии проходили вдоль цветов от одного конца спектра

к другому, я нашел, что фокус, где отбрасывает наиболее отчетливое изображение индиго, или граница между индиго и фиолетовым, приблизительно на 4 или $4^1/_4$ дюйма ближе к линзе, чем тот фокус, где отбрасывается наиболее отчетливое изображение тех же черных линий самым глубоким красным цветом. Фиолетовый цвет был столь слаб и темен, что я не мог в этом свете ясно отличить изображение линий, и поэтому, приняв во внимание, что призма была сделана из темного окрашенного зеленоватого стекла, я взял другую призму из прозрачного белого стекла, но спектр цветов, образованный этой призмой, обладал длинными белыми потоками слабого света, выбрасываемыми с обоих концов цветов, что заставило меня заключить о каком-то упущении: рассмотрев призму, я нашел два или три маленьких пузырька в стекле, неправильно преломлявших свет. Поэтому я закрыл эту часть стекла черной бумагой и, пропуская свет через остальную часть, свободную от таких пузырьков, получил спектр цветов без неправильных потоков света, такой, какой я желал. Но я все же нашел, что фиолетовая часть столь темна и слаба, что изображение линий в фиолетовом свете едва можно было видеть и ничего не было видно в самой глубокой его части, примыкающей к концу спектра. Я заподозрил поэтому, что этот слабый и темный цвет растворяется тем рассеянным светом, который неправильно отражается и преломляется частью весьма малыми пузырьками в стеклах и частью вследствие неоднородности полировки стекла: этот свет, хотя и небольшой, но белый, может быть достаточен для действия на чувство, настолько сильного, что он мешает явлениям слабого и темного фиолетового цвета; поэтому я попробовал, как в 12-м, 13-м и 14-м опытах, не состоит ли свет этой окраски из заметной смеси однородных лучей, но не нашел этого. Преломления этого света не приводили к появлению другого заметного цвета, кроме фиолетового; иное должно бы произойти для белого света, а следовательно, и для данного фиолетового света, если бы он был заметно смешан с белым светом. Вследствие этого я заключил, что осно-

ванием того, почему я не мог видеть отчетливого изображения линий в этом цвете, были только темнота этого цвета, его тонкость и удаленность от оси линзы; я разделил поэтому параллельные черные линии на равные части, при помощи которых я мог ясно определить расстояние цветов в спектре одного от другого, и отметил расстояния линзы от фокусов тех цветов, которые отбрасывали отчетливое изображение линий; затем я посмотрел, будет ли разность этих расстояний находиться в таком отношении к $5^1/_3$ дюйма (наибольшей разности расстояний, которую должны иметь фокусы самого глубокого красного и фиолетового от линзы), как отношение расстояния наблюдаемых цветов спектра к наибольшему расстоянию самого глубокого красного и фиолетового, измеренному по прямолинейным сторонам спектра, т. е. к длине этих сторон, или избытку длины спектра над его шириной. Мои наблюдения были следующими.

Когда я наблюдал и сравнивал самый глубокий красный цвет и цвет границы зеленого и синего, удаленные по прямолинейным сторонам спектра на половину длины сторон, то фокус, где граница зеленого и синего цветов отчетливо отбрасывала изображение линий на бумаге, был ближе к линзе, чем фокус, в котором красный цвет отчетливо отбрасывал изображение линий, приблизительно на $2^1/_2$ или $2^3/_4$ дюйма; измерения давали иногда несколько больше, иногда несколько меньше, но редко отличались одно от другого более чем на $^1/_3$ дюйма, так как было весьма затруднительно определять положение фокусов без некоторых малых ошибок. Если теперь цвета, удаленные на половину длины изображения (по измерению прямолинейных сторон), дают $2^1/_2$ или $2^3/_4$ дюйма разности расстояний их фокусов от линзы, то цвета, удаленные на всю длину, должны давать 5 или $5^1/_2$ дюймов разности этих расстояний.

Но здесь следует заметить, что я не мог видеть красного цвета до полного конца спектра, а только до центра полукруга, ограничивающего этот конец, или несколько дальше; поэтому я сравнивал этот красный цвет не с тем цветом, который точно находился на сере-

дине спектра, или на границе зеленого и синего, но с цветом, входящим более в синюю часть, чем в зеленую. Зная, что полная длина цветов не является полной длиной спектра, но длиною его прямолинейных сторон, я дополнял полукруглые концы до кругов в том случае, когда один из наблюдаемых цветов находился внутри этих кругов, и измерял расстояние этих цветов от полукруглого конца спектра[41]; вычитая половину этого расстояния из измеренного расстояния между двумя цветами, я считал остаток за исправленное расстояние и применял его в измерениях для разности расстояний фокусов этих цветов от линзы; длина прямолинейных сторон спектра была бы полной длиной цветов, если бы круги, из которых (как было показано) состоит спектр, сжались и сделались физическими точками: в этом случае исправленное расстояние было бы действительным расстоянием между двумя наблюдаемыми цветами.

Когда, таким образом, я наблюдал, далее, крайний видимый красный цвет и синий, исправленное расстояние между которыми было $^7/_{12}$ длины прямолинейных сторон спектра, то разность расстояний их фокусов от линзы была около $3^1/_4$ дюйма; 7 относится к 12, как $3^1/_4$ к $5^4/_7$.

Когда я наблюдал крайний видимый красный цвет и индиго, исправленное расстояние между которыми было $^8/_{12}$ или $^2/_3$ длины прямолинейных сторон спектра, то разность расстояний их фокусов от линзы была около $3^2/_3$ дюйма; 2 относится к 3, как $3^2/_3$ к $5^1/_2$.

Когда я наблюдал крайний видимый красный цвет и глубокий индиго, исправленное расстояние между которыми было $^9/_{12}$ или $^3/_4$ длины прямолинейных сторон спектра, то разность расстояний их фокусов от линзы была около 4 дюймов; 3 относится к 4, как 4 к $5^1/_3$.

Когда я наблюдал крайний видимый красный цвет и ту часть фиолетового вблизи индиго, исправленное расстояние которой от красного было $^{10}/_{12}$ или $^5/_6$ длины прямолинейных сторон спектра, то разность расстояний их фокусов от линз была около $4^1/_2$ дюймов; 5 относится к 6, как $4^1/_2$ к $5^2/_5$. Иногда, когда линза была выгодно

поставлена, так, что ось ее была направлена к синему, все предметы были хорошо установлены, солнце светило ярко и я помещал глаз очень близко от бумаги, на которой линза отбрасывала изображение линий, то я мог видеть очень отчетливо изображение линий в той части фиолетового цвета, которая была близка к индиго, иногда же я мог видеть больше, чем на половину фиолетового цвета. Производя эти опыты, я заметил, что только изображения тех цветов являются отчетливыми, которые находятся на оси линзы или поблизости от нее. Так что, если синий или индиго были на оси, я мог видеть отчетливо их изображения, но красный цвет был значительно менее отчетливым, чем раньше. Вследствие этого я решил укоротить спектр цветов так, чтобы оба его конца были ближе к оси. Теперь длина его была около $2^1/_2$ дюймов и ширина около $^1/_5$ или $^1/_6$ дюйма. Вместо черных линий, на которые отбрасывался спектр, я провел одну черную линию, более широкую, чем прежние, так что мог различать изображение значительно легче; эту линию я разделил короткими поперечными линиями на равные части для измерения расстояний наблюдаемых цветов. Теперь я мог иногда видеть изображение линии с ее делениями почти до центра полукруглого фиолетового конца спектра и сделал при этом следующие наблюдения.

Когда я наблюдал крайний видимый красный и ту часть фиолетового, исправленное расстояние которой от красного было около $^8/_9$ длины прямолинейных сторон спектра, то разность расстояний фокусов этих цветов от линзы была: раз — $4^2/_3$, другой раз — $4^3/_4$, третий раз — $4^7/_8$ дюйма; 8 относится к 9, как $4^2/_3$, $4^3/_4$, $4^7/_8$ относятся соответственно к $5^1/_4$, $5^{11}/_{32}$, $5^{31}/_{64}$.

Когда я наблюдал крайний видимый красный и крайний видимый фиолетовый (исправленное расстояние этих цветов при наиболее выгодной установке всех предметов и весьма ярком свете солнца было около $^{11}/_{12}$ или $^{15}/_{16}$ длины прямолинейных сторон окрашенного спектра), то я нашел, что разность расстояний их фокусов от линзы иногда была $4^3/_4$, иногда — $5^1/_4$ и большею частью

5 дюймов или около этого; 11 относится к 12 или 15 к 16, как 5 дюймов к $5^1/_2$ или $5^1/_3$ дюйма.

Из этих последовательных опытов я убедился, что если свет на крайних концах спектра достаточно силен для ясного получения изображения черных линий на бумаге, то фокус крайнего фиолетового находится от линзы по крайней мере на $5^1/_3$ дюйма ближе, чем фокус крайнего красного цвета. Это является новым доказательством того, что синусы падения и преломления различных сортов лучей находятся в том же отношении один к другому при наименьших преломлениях, как и при наибольших.

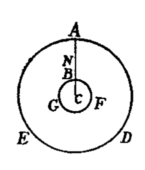
Я изложил подробно последовательность этих тонких и утомительных опытов для того, чтобы те, кто будут производить их после меня, знали, какая осмотрительность требуется для хорошего успеха опыта. Если они не достигнут столь хорошего успеха, как я, то, несмотря на это, из отношения расстояния цветов спектра к разности расстояний их фокусов от линзы они могут найти, каков бы должен быть результат в наиболее удаленных цветах при более успешном опыте. Если они, однако, воспользуются более широкой линзой, чем я, и прикрепят ее к длинному прямому шесту, посредством которого линзу можно точно и верно направлять к цветам, фокус которых желательно найти, то я не сомневаюсь, что опыт удастся лучше, чем у меня, ибо я направлял ось насколько мог ближе к середине цветов, и слабые концы спектра поэтому были удалены от оси, отбрасывая менее отчетливое изображение на бумагу, чем в том случае, когда ось последовательно направлялась бы к ним.

Из сказанного ясно теперь, что лучи, отличающиеся по преломляемости, не сходятся в одном фокусе; если они идут от светящейся точки, столь же удаленной от одной стороны линзы, как их фокусы от другой, то фокус наиболее преломляемых лучей будет ближе к линзе, чем фокус наименее преломляемых лучей, более чем на четырнадцатую часть всего расстояния. Если же лучи идут от светящейся точки, столь удаленной от линзы, что до

их падения они могут считаться параллельными, то фокус наиболее преломляемых лучей будет ближе к линзе, чем фокус наименее преломляемых, приблизительно на 27-ю или 28-ю часть полного расстояния от линзы. И диаметр круга в среднем пространстве между этими двумя фокусами, который освещали бы лучи, если бы они падали на некоторую плоскость, перпендикулярную к оси (этот круг является наименьшим, в котором собираются все лучи), будет приблизительно 55-й частью диаметра отверстия стекла. Поэтому приходится удивляться тому, что телескопы изображают предметы столь отчетливо. Но если бы все лучи света преломлялись одинаково, то остающаяся ошибка, проистекающая только от сферичности стекол, была бы в несколько сот раз меньше. Пусть объективное стекло телескопа — плоско-выпуклое и плоская сторона повернута к предмету; диаметр сферы, сегментом которой является стекло, назовем D, радиус отверстия стекла назовем S, и пусть синус падения при переходе из стекла в воздух относится к синусу преломления, как I к R; тогда лучи, идущие параллельно к оси стекла, в том месте, где изображение предмета наиболее отчетливо, будут весьма точно рассеиваться по маленькому кругу диаметром $\frac{Rq}{Iq} \times \frac{S\,cub.}{D\,quad.}$ [41a], как я нашел, высчитывая ошибки лучей по методу бесконечных рядов, отбрасывая члены, величины которых незначительны. Если, например, синус падения I относится к синусу преломления R, как 20 к 31, D — диаметр сферы, к которой относится выпуклая сторона стекла, равен 100 футам, или 1200 дюймам, S — радиус отверстия — два дюйма, то диаметр малого круга $\left(\text{т. е. } \frac{Rq \times S\,cub.}{Iq \times D\,quad.}\right)$ будет $\frac{31 \times 31 \times 8}{20 \times 20 \times 1200 \times 1200}$, или $\frac{961}{72\,000\,000}$ часть дюйма. Диаметр же малого круга, в котором рассеиваются лучи вследствие неодинаковой преломляемости, будет около 55-й части отверстия объективного стекла, которое здесь равно четырем дюймам. Поэтому ошибка, возникающая вследствие сферической

формы стекла, относится к ошибке, возникающей вследствие различной преломляемости лучей, как $\frac{961}{72\,000\,000}$ к $\frac{4}{55}$, т. е. как 1 к 5449; она сравнительно столь мала, что не заслуживает внимания [42].

Но вы скажете, если ошибки, вызываемые различной преломляемостью, столь велики, то как же возникают в телескопе столь отчетливые изображения предметов? Я отвечу, что это происходит потому, что лучи, вносящие ошибку, рассеиваются не равномерно по всему круглому пространству, но собираются бесконечно плотнее в центре, чем в других частях круга, и на пути от центра к окружности непрерывно делаются реже и реже, становясь на окружности бесконечно редкими; благодаря их разреженности они недостаточно сильны, чтобы быть видимыми, за исключением центра и поблизости от него. Пусть ADE (фиг. 27) представляет один из этих кругов, описанный из центра C радиусом AC, и пусть BFG будет меньший круг, концентрический первому и пересекающий своей окружностью диаметр AC в B; разделим AC пополам в N; по моим расчетам, плотность света в некотором месте B относится к плотности в N, как AB к BC, и весь свет внутри меньшего круга BFG относится ко всему свету внутри большего круга AED, как разность квадратов AC и AB относится к квадрату AC. Если, например, BC является одною пятой частью AC, то свет в B будет вчетверо плотнее, чем в N, и весь свет внутри меньшего круга будет относиться ко всему свету внутри большего круга, как девять к двадцати пяти [43]. Отсюда ясно, что свет, находящийся внутри малого круга, должен действовать на чувство значительно сильнее, чем слабый и расширенный свет вокруг, между малым кругом и окружностью большого.



Фиг. 27.

Но кроме того следует заметить, что наиболее яркими призматическими цветами являются желтый и оранжевый.

Они действуют на чувства более сильно, чем все остальные цвета вместе; следующими по силе являются красный и зеленый. Синий в сравнении с ними — слабый и темный цвет, индиго и фиолетовый — еще темнее и слабее, так что в сравнении с сильными цветами они имеют малое значение. Поэтому изображения предметов должны ставиться не в фокус лучей средней преломляемости, находящихся на границе зеленого и синего, но в фокус тех лучей, которые находятся между оранжевым и желтым, там, где свет наиболее ярок и блестящ, т. е. в наиболее ярком желтом цвете, где он ближе к оранжевому, чем к зеленому. По преломлению этих лучей (синусы падения и преломления которых в стекле относятся, как 17 к 11) должно измеряться преломление стекла и хрусталя для оптических применений. Если изображение предмета находится в фокусе этих лучей, то весь желтый и оранжевый цвет будет падать внутри кружка с диаметром около 250-й части диаметра отверстия стекла. И если вы прибавите более яркую часть красного (ту половину, которая ближе к оранжевому) и более яркую часть зеленого (которая ближе к желтому), то почти три пятых части света этих двух цветов будет падать внутри того же круга, а две пятых будет расположено вне круга; свет, падающий вне круга, будет рассеиваться на пространстве почти вдвое большем, чем внутри круга, поэтому в общем будет почти в три раза реже. Около одной четверти другой половины красного и зеленого (т. е. глубокого темнокрасного и зеленого, цвета ивы) будет падать внутри круга и три четверти — вне; свет, падающий вне круга, будет рассеиваться на пространстве в четыре или пять раз большем, чем свет, падающий внутри; таким образом в сравнении со всем светом внутри круга он будет приблизительно в 25 раз реже, чем весь свет внутри, взятый в общем, или, скорее, в 30 или 40 раз реже, потому что глубокий красный на конце спектра цветов, получаемого в призме, очень тонок и разрежен, а ивово-зеленый несколько реже, чем оранжевый и желтый. Свет этих цветов, являясь,

следовательно, значительно реже света внутри круга, может действовать на чувство очень слабо, особенно ввиду того, что глубокий красный и ивово-зеленый в этом свете являются значительно более темными цветами, чем остальные. На этом же основании можно пренебречь синим и фиолетовым цветами, как более темными и значительно более разреженными, ибо плотный и яркий свет внутри круга будет затемнять редкий и слабый свет темных цветов, находящихся вокруг, и делать их почти неощутимыми[44]. Ощутимое изображение светящейся точки будет поэтому едва ли шире, чем круг, диаметр которого является одной 250-й частью диаметра отверстия объективного стекла хорошего телескопа или немного шире, если вы исключите слабый и темный смешанный свет кругом, который наблюдатель почти не замечает. Поэтому в телескопе с отверстием в четыре дюйма и длиною в сто футов изображение точки не превосходит 2″ 45‴ или 3″. В телескопе же с отверстием в 1 дюйм и длиною 20 или 30 футов оно будет 5″ или 6″ и едва ли больше. Это хорошо отвечает опыту, ибо некоторые астрономы нашли, что диаметры неподвижных звезд в телескопах длиною от 20 до 60 футов были около 5″ или 6″ или самое большее 8″ или 10″. Если, однако, слегка зачернить окулярное стекло дымом лампы или факела и затемнить свет звезды, то слабый свет на окружности звезды перестает быть видимым, и звезда (если только стекло достаточно закопчено) иногда кажется похожей на математическую точку. По этой же причине неправильный свет в окружности всякой светящейся точки должен быть менее различимым в коротких телескопах, чем в длинных, так как короткие телескопы пропускают к глазу менее света.

Неподвижные звезды благодаря огромному расстоянию кажутся точками, если их свет не расширяется преломлением; это явствует из следующего: когда луна проходит над звездами и происходит затмение, то свет звезд исчезает не постепенно, как у планет, но сразу, и при окончании затмения он попадает в глаз немедленно или во всяком случае меньше чем через секунду

одной минуты; преломление в лунной атмосфере несколько затягивает время исчезновения света звезды и его возвращения.

Если мы предположим теперь, что ощутимое изображение светящейся точки будет даже меньше, чем одна 250-я отверстия стекла, то все же это изображение будет много больше, чем изображение, получаемое только благодаря сферической форме стекла, ибо если бы не было различной преломляемости лучей, то ширина изображения в телескопе длиною 100 футов с отверстием в 4 дюйма была бы $\frac{961}{72\,000\,000}$ часть дюйма, как это явствует из вышеприведенного расчета. Следовательно, в этом случае наибольшие ошибки, возникающие благодаря сферической форме стекла, будут относиться к наибольшим ощутимым ошибкам, возникающим из различной преломляемости лучей, в крайнем случае как $\frac{961}{72\,000\,000}$ к $\frac{4}{250}$, т. е. только как 1 к 1200. Это достаточно показывает, что усовершенствованию телескопов препятствует не сферическая форма стекол, но различная преломляемость лучей.

Есть и другой аргумент, из которого можно видеть, что различная преломляемость лучей является истинной причиной несовершенства телескопов. Ошибки, возникающие благодаря сферическим формам объективных стекол, относятся как кубы отверстий объективных стекол; отсюда при изготовлении телескопов различной длины, увеличивающих с одинаковой отчетливостью, отверстия объективных стекол и увеличивающая способность должны бы относиться как кубы квадратных корней длин телескопов, что не соответствует опыту. Но ошибки, возникающие от различной преломляемости, относятся как отверстия объективных стекол, и, следовательно, при изготовлении телескопов различных длин, увеличивающих с одинаковою отчетливостью, их отверстия и увеличения должны относиться как квадратные корни длин телескопов, что соответствует опыту, как это

хорошо известно. Например, телескоп длиною в 64 фута с отверстием в $2^2/_3$ дюйма увеличивает приблизительно в 120 раз с такою же отчетливостью, как телескоп длиною в фут с отверстием в $^1/_3$ дюйма, увеличивающий в 15 раз.

Если бы не различная преломляемость лучей, то в усовершенствовании телескопов можно бы добиться значительно большего, чем то, что мы описали, составляя объективные стекла из двух стекол с водою между ними. Пусть *ADFC* (фиг. 28) представляет объективное стекло, составленное из двух стекол *ABED* и *BEFC*, одинаково выпуклых с внешних сторон *AGD* и *CHF* и одинаково вогнутых сторон *BME*, *BNE* изнутри, с водою в полости *BMEN*. Пусть синус падения из стекла в воздух равен отношению *I* к *R*, из воды в воздух — отношению *K* к *R* и, следовательно, из стекла в воду — отношению *I* к *K*; пусть диаметр сферы, к которой относятся выпуклые стороны *AGD* и *CHF*, будет *D*, и диаметр сферы, к которой относятся вогнутые стороны *BME* и *BNE*, относится к *D*, как кубичный корень из *KK — KI* относится к кубичному корню из *RK — RI*; преломления на вогнутых сторонах стекол значительно исправят ошибки преломлений на выпуклых сторонах, поскольку ошибки возникают вследствие сферичности фигуры. Таким способом можно бы довести телескопы до достаточного совершенства, если бы не было различной преломляемости различных сортов лучей. Но по причине этой различной преломляемости я не вижу какого-либо другого средства улучшения телескопов с помощью преломлений, кроме только увеличения их длины, для каковой цели, повидимому, весьма удобно последнее изобретение *Гугения* [45], ибо весьма длинные трубы требуют многих хлопот, ими трудно правильно управлять, по причине их длины они могут прогибаться и совершать колебания при прогибе, вызывающие постоянное дрожание предметов, почему становится весьма затруднительным различать предметы отчетливо; благодаря же

Фиг. 28.

указанному изобретению со стеклами легко обращаться, и объективное стекло, укрепленное на прочной прямой подставке, становится более устойчивым.

Видя поэтому, что улучшение телескопов данных длин с помощью преломлений безнадежно, я придумал в свое время отражательную перспективу, применяя вместо объективного стекла вогнутый металл [46]. Диаметр сферы, частью которой являлся вогнутый металл, был около 25 английских дюймов, и следовательно, длина инструмента была около шести дюймов с четвертью. Окулярное стекло было плоско-выпуклым, и диаметр сферы, соответствовавшей выпуклой стороне, был около $^1/_5$ дюйма или несколько меньше; следовательно, стекло увеличивало в 30 или 40 раз. Измеряя другим путем, я нашел, что оно увеличивало в 35 раз. Апертура вогнутого металла была в один дюйм с третью, но отверстие не было ограничено кругом, закрывающим край металла; вместо этого между окулярным стеклом и глазом помещался темный круг с маленьким круглым отверстием, пробуравленным посредине для прохождения лучей к глазу; этот круг, находясь здесь, задерживал много неправильного света, который иначе мешал бы наблюдению. Сравнивая этот инструмент с весьма хорошей перспективой в четыре фута длиною, имеющей вогнутое окулярное стекло, я мог наблюдать моим собственным инструментом на большее расстояние, чем при помощи стекла. Однако предметы в моем инструменте казались более темными, чем в стекле, частью потому, что при отражении от металла терялось больше света, чем при преломлении в стекле, частью же от того, что мой инструмент слишком сильно увеличивал. Если бы он увеличивал только в 30 или 25 раз, то предметы в нем казались бы более живыми и приятными. Два таких инструмента я сделал около 16 лет тому назад [47] и имею один из них до сих пор у себя; им я могу доказать истину того, о чем пишу. Он, однако, не столь хорош, как первый, ибо вогнутое зеркало несколько раз тускнело и прояснялось снова натиранием очень мягкой кожей. Когда я сделал мои телескопы, один мастер [48]

в *Лондоне* пытался их повторить; пользуясь, однако, способом полировки, отличным от моего, он достиг значительно меньшего, чем я, как я узнал позднее из разговора с одним рабочим, служившим у него. Полировка, которой пользовался я, была такого рода. Я имел две круглых медных пластинки, шесть дюймов в диаметре каждая, одну выпуклую, другую вогнутую, точно притертые одна к другой. К выпуклой пластинке я притирал объективный металл или вогнутое зеркало, которое нужно было полировать до тех пор, пока оно принимало форму выпуклой пластинки и было готово к полировке. Затем я покрывал выпуклый металл очень тонким слоем смолы, капая расплавленной смолой на металл и нагревая его; для того чтобы сохранять смолу мягкой, в это время я притирал ее вогнутой медной пластинкой, смоченной для того, чтобы распределить смолу поровну по всей выпуклости. Тщательно обрабатывая смолу таким образом, я достиг толщины гроша [49]; после того как выпуклость охлаждалась, я притирал ее снова, придавая ей возможно правильную форму. Затем я брал очень тонкую золу, отмытую от больших частиц, и, положив немного ее на смолу, притирал к смоле вогнутой медью до тех пор, пока не прекращался шорох; после этого я притирал быстрым движением объективный металл к смоле в течение около двух или трех минут, сильно на него нажимая. Далее, я насыпал на смолу свежей золы, притирал ее снова до исчезновения шума и после этого, как и прежде, притирал объективный металл. Эту работу я повторял до тех пор, пока металл не отполировался, притирая его напоследок со всей моей силой в течение изрядного времени и часто дыша на смолу, для того чтобы держать ее сырой, не подсыпая свежей золы. Объективный металл был шириною в два дюйма и толщиною около третьей части дюйма, чтобы предохранить его от прогиба. Я имел два таких металла; отполировав их оба, я испробовал, который из них лучше; другой же я снова начал притирать, чтобы посмотреть, не могу ли я сделать его лучше, чем первый. Таким образом многими пробами я изучил способ поли-

ровки до такой степени, что сделал те две отражающие перспективы, о которых говорил выше. Этот способ полировки можно лучше изучить повторной практикой, чем из моего описания. Прежде чем притирать объективное зеркало смолой, я всякий раз притирал золу к смоле вогнутой медью до тех пор, пока не прекращался шум, потому что если бы частицы золы не внедрялись таким способом в смолу, то, катаясь по ней, они бы царапали и терли объективный металл, наполняя его множеством маленьких отверстий.

Однако металл полируется много труднее стекла, и после полировки он очень предрасположен к порче вследствие потускнения и отражает не столько света, как стекло, покрытое ртутью; поэтому я предложил бы применять вместо металла стекло, вогнутое с передней стороны и настолько же выпуклое с задней и покрытое ртутью с выпуклой стороны. Стекло должно быть всюду точно одинаковой толщины, иначе оно будет окрашивать рассматриваемые предметы и делать их неотчетливыми. Я пытался с помощью такого стекла приблизительно пять или шесть лет тому назад [50] сделать отражательный телескоп в четыре фута длиною для увеличения приблизительно в 150 раз и убедился, что требуется только хороший мастер для совершенного выполнения этого намерения. Стекло было обработано одним из наших *лондонских* мастеров тем же способом, как они полируют стекла для телескопов, и поэтому казалось столь же хорошим, как обыкновенные объективные стекла; однако, когда стекло было покрыто ртутью, отражение обнаружило бесчисленные неоднородности по всему стеклу. Благодаря этим неоднородностям предметы в инструменте казались неотчетливыми, ибо ошибки отраженных лучей, вызываемые какими-либо неоднородностями стекла, приблизительно в шесть раз больше, чем ошибки преломленных лучей, вызываемые теми же неправильностями. Однако из этого опыта я убедился, что отражение от вогнутой стороны стекла, относительно которого я боялся, что оно будет мешать наблюдению, не вносило никаких ощутимых недостатков и,

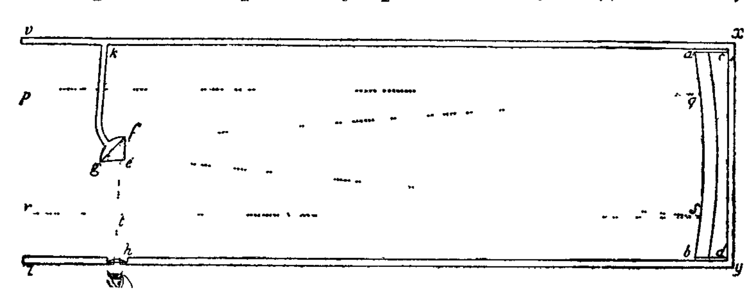
следовательно, для усовершенствования этих телескопов нужен только хороший работник, который может дать стеклам правильную сферическую форму и отполировать их. Я значительно улучшил объективное стекло телескопа длиною в четырнадцать футов, сделанное одним из *лондонских* мастеров, притирая его к смоле золою, нажимая при этом очень слабо, для того чтобы зола не царапала. Я не испробовал еще, однако, будет ли этот способ достаточно хорошим для полировки отражающих стекол. Тот, кто будет испытывать этот или иные способы полировки, которые он сочтет лучшими, хорошо сделает, если не будет притирать свои стекла, готовые к полировке, с такой силой, с какой прижимают наши *лондонские* мастера свои стекла при притирании, ибо при таком сильном надавливании стекла несколько прогибаются и такое искривление будет, очевидно, искажать их форму. Для того чтобы обратить на эти отражающие стекла внимание тех мастеров, которые интересуются получением стекол, я опишу этот оптический инструмент в следующем предложении.

ПРЕДЛОЖЕНИЕ VIII. Задача II.

Укоротить телескопы.

Пусть *abdc* (фиг. 29) [51] представляет стекло, сферически вогнутое на передней стороне *ab* и столь же выпуклое на задней стороне *cd*, так что оно всюду одинаковой толщины. Стекло не должно быть толще на одной стороне, чем на другой, для того чтобы предметы не казались окрашенными и неотчетливыми; оно должно быть тщательно выделано и покрыто ртутью с задней стороны. Поместим его в трубу *vxyz*, которая должна быть очень черной внутри. Пусть *efg* представляет призму из стекла или хрусталя, помещенную вблизи другого конца трубы, в ее середине, на латунной или железной ручке *fgk*, к плоскому концу которой приклеена призма. Призма должна быть прямоугольной у *e*, причем оба других угла при *f* и *g* должны быть точно равны между

собою и, следовательно, равняться половине прямого; грани *fe* и *ge* — квадратные, третья грань *fg*, следовательно, — прямоугольный параллелограмм, длина которого относится к ширине, как корень квадратный из отношения двух к единице. Пусть призма помещена в трубе так, что ось зеркала проходит через середину квадратной грани *ef* перпендикулярно к ней и, следовательно,



Фиг. 29

через середину грани *fg* под углом в 45 градусов; пусть грань *ef* обращена к зеркалу и расстояние призмы от зеркала таково, что лучи света *pq*, *rs* и пр., падающие на зеркало по линиям, параллельным его оси, входят в призму через грань *fe*, отражаются от грани *fg* и затем выходят через грань *ge* к точке *t*, которая должна быть общим фокусом зеркала *abdc* и плоско-выпуклого окулярного стекла *h*, через которое лучи должны проходить к глазу. Пусть лучи при выходе из стекла проходят через маленькое круглое отверстие, или апертуру, проделанную в маленькой пластинке из свинца, латуни или серебра, покрывающую стекло, причем отверстие не должно быть больше, чем требуется для достаточного прохождения света, ибо благодаря этому предмет становится отчетливым, так как пластинка, в которой проделано отверстие, задерживает всю неправильную часть света, идущую от краев зеркала *ab*. Такой инструмент, если он хорошо выполнен, при длине в шесть футов (считая длину от зеркала до призмы и от призмы до

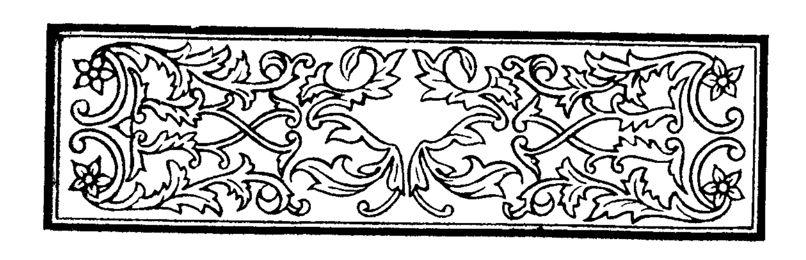
фокуса *t*) должен иметь отверстие в шесть дюймов у зеркала и увеличивать в двести или триста раз. Но отверстие *h* в данном месте ограничивает отверстие значительно выгоднее, чем в том случае, если бы оно помещалось у зеркала. При удлинении или укорачивании инструмента отверстия должны находиться в отношении кубов биквадратного корня длины, а увеличения должны относиться так же, как отверстия [52]. Однако удобнее, чтобы зеркало было по крайней мере на один или два дюйма шире отверстия и стекло зеркала было толсто, так, чтобы оно не могло прогибаться при обработке. Призма *efg* не должна быть толще, чем нужно, и ее задняя сторона не должна покрываться ртутью, ибо и без ртути она будет отражать весь свет, падающий на нее из зеркала.

В этом инструменте предмет будет перевернут, но может быть восстановлен, если квадратные стороны *ef* и *eg* призмы *efg* сделать не плоскими, а сферически выпуклыми, так, чтобы лучи могли перекрещиваться как перед приходом на призму, так и после выхода из нее между призмой и окулярным стеклом. Если желательно, чтобы инструмент был с бóльшим отверстием, то этого можно достичь также, составляя зеркало из двух стекол с водою между ними.

Если бы теория изготовления телескопов и могла со временем полностью перейти в практику, то существовали бы, однако, определенные границы, за которыми невозможно дальнейшее совершенствование телескопов, ибо воздух, через который мы смотрим на звезды, находится в постоянном дрожании, как это можно видеть по дрожанию теней, отбрасываемых высокими башнями, и по мерцанию неподвижных звезд. Но эти звезды не мерцают при наблюдении через телескопы с большими отверстиями. Ибо лучи света, проходящие через различные части отверстия, дрожат каждый в отдельности, и благодаря их различному и иногда противоположному дрожанию они падают в одно и то же время на различные точки дна глаза, причем их дрожащие движения слишком быстры и неясны, чтобы их можно было раз-

личить в отдельности. Все эти освещенные точки составляют одну широкую светящуюся точку, состоящую из многих таких дрожащих точек, неясно и неощутимо смешиваемых одна с другой благодаря коротким и быстрым дрожаниям: поэтому звезда кажется шире, чем она есть, и видна без всякого дрожания. В длинные телескопы предметы кажутся ярче и больше, чем в короткие, но их нельзя сделать такими, чтобы избавиться от слияния лучей, возникающего от дрожаний в атмосфере. Единственное средство — наиболее ясный и спокойный воздух, который, может быть, найдется на вершинах высочайших гор над большими облаками [53].





ЧАСТЬ II.

ПРЕДЛОЖЕНИЕ I. *Теорема I.*

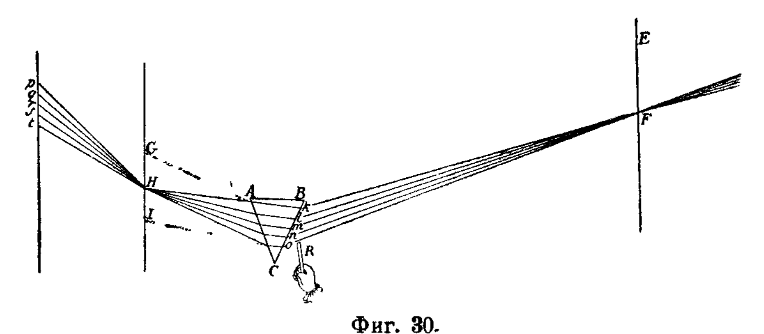


вления цветов в преломленном и отраженном свете не вызываются какими-либо новыми модификациями света, производимыми различным образом, соответственно различным границам света и тени.

Доказательство опытами.

Опыт 1. Пусть солнце светит внутрь очень темной комнаты через удлиненное отверстие *F* (фиг. 30), ширина которого шестая или восьмая часть дюйма или несколько меньше, и пучок света *FH* проходит после этого сначала через очень большую призму *ABC* на расстоянии около 20 футов от отверстия, поставленную параллельно отверстию; затем (своей белой частью) свет идет через удлиненное отверстие *H*, ширина которого около четвертой или шестой части дюйма и которое сделано в черном непрозрачном теле *GI* и помещено на расстоянии двух или трех футов от призмы в параллельном положении к призме и к первому отверстию; белый свет, пропускаемый таким образом через отверстие *H*,

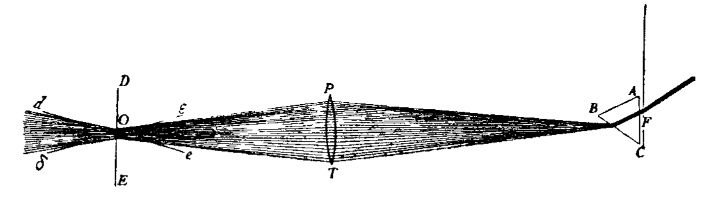
падает после того на белую бумагу *pt*, помещенную за щелью *H* на расстоянии трех или четырех футов от нее, и отбрасывает на нее обычные цвета призмы: положим, красный — в *t*, желтый — в *s*, зеленый — в *r*, синий — в *q* и фиолетовый — в *p*; тогда железной проволокой или каким-нибудь другим подобным тонким темным предметом, ширина которого около десятой части дюйма, можно,



Фиг. 30.

задерживая лучи при *k*, *l*, *m*, *n* или *o*, заставить исчезнуть один из цветов при *t*, *s*, *r*, *q* или *p*, в то время как остальные цвета остаются на бумаге попрежнему; при помощи несколько более широкого препятствия можно извлечь два, или три, или четыре цвета вместе и оставить остальные. Таким образом любой цвет так же, как фиолетовый, может стать крайним на границе тени у *p*, и любой цвет может стать крайним так же, как красный, на границе тени у *t*; каждый из них может также граничить с тенью, полученной между цветами при задерживании препятствием *R* некоторой промежуточной части света, и, наконец, каждый из цветов, оставшись одним, может ограничиваться тенью с двух сторон. Все цвета относятся безучастно к любым границам тени, и поэтому различие цветов одного от другого не происходит от различных границ тени, вследствие чего свет видоизменялся бы различным образом, как думали до сих пор философы [54]. При испытании этих предметов следует заметить, что чем уже отверстия *F*

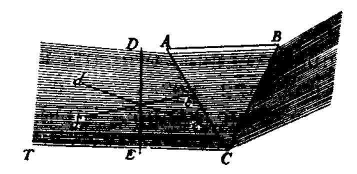
и *H*, чем больше расстояние между ними, чем больше призма, чем темнее комната, тем лучше удается этот опыт, если только свет не слишком уменьшен и цвета в *pt* достаточно видны. Будет трудно достать призму из твердого стекла достаточно большую для этого опыта; поэтому нужно сделать призматический сосуд из полированных стеклянных пластинок, склеенных вместе и наполненных соленой водой или прозрачным маслом [55].



Фиг. 31.

Опыт 2. Солнечный свет, пропускаемый в темную комнату через круглое отверстие *F* (фиг. 31) шириною в полдюйма, проходил сначала через призму *ABC*, помещенную около отверстия, и затем через линзу *PT* шириною несколько больше четырех дюймов, находящуюся на расстоянии около восьми футов от призмы; далее свет сходился в *O* — в фокусе линзы — на расстоянии около трех футов от нее и здесь падал на белую бумагу *DE*. Если бумага была перпендикулярна к этому падающему на нее свету, как представлено положением *DE*, то все цвета на бумаге у *O* казались белыми. Но если бумага поворачивалась вокруг оси, параллельной призме, делаясь весьма наклоненной к свету, как представлено положениями *de* и *δε*, то тот же свет в одном случае казался желтым и красным, в другом — синим. Здесь одна и та же часть света в одном и том же месте, соответственно различным наклонам бумаги, казалась в одном случае белой, в другом — желтой или красной, в третьем — синей, хотя граница света и тени и преломления призмы оставались теми же самыми во всех случаях.

Опыт 3. Другой такой опыт легко произвести следующим образом. Пусть широкий пучок солнечного света, входящий в темную комнату через отверстие в оконной ставне, преломляется большой призмой *ABC* (фиг. 32), преломляющий угол которой *C* больше 60 градусов; пусть свет, как только он выйдет из призмы, падает на белую бумагу *DE*, наклеенную на твердую доску; когда бумага будет перпендикулярной к свету, как представлено в *DE*, то свет на бумаге будет казаться совершенно белым, но когда бумага очень сильно наклонена к свету, оставаясь все время параллельной оси призмы, то белизна этого полного света на бумаге будет, соответственно тому или иному наклону бумаги, переходить то в желтый и красный цвет, как в положении *de*, то в синий и фиолетовый, как в положении *δε*. Если свет до падения на бумагу будет дважды преломляться одинаковым образом в двух параллельных призмах, то эти цвета станут более заметными. Здесь вся средняя часть широкого пучка белого света, падающая на бумагу без всяких границ тени, которые могли бы изменить свет, окрашивается по всей поверхности однородным светом, который одинаков всегда как в середине, так и на краях бумаги: этот цвет менялся соответственно различной отлогости отражающей бумаги без какого-либо изменения преломления или тени света, падающего на бумагу. Поэтому такие цвета происходят от какой-то другой причины, а не от новых модификаций света вследствие преломлений и теней.



Фиг. 32.

Если спросят, какова же их причина, я отвечу, что бумага в положении *de*, более наклоненная к более преломляемым лучам, чем к менее преломляемым, освещается более сильно последними, чем первыми, и поэтому менее преломляемые лучи главенствуют в отраженном свете, и, поскольку они главенствуют в какомлибо свете, они окрашивают его в красный или желтый,

как это до некоторой степени явствует из первого предложения первой книги и будет еще яснее дальше. Противоположное происходит при положении бумаги в δε: главенствующими являются более преломляемые лучи, всегда окрашивающие свет в синий и фиолетовый [56].

Опыт 4. Цвета мыльных пузырей, которыми играют дети, различны и меняют свое положение различным образом без всякого отношения к границам тени. Если такой пузырь покрыть вогнутым стеклянным сосудом, предохраняя его от колебаний вследствие ветра или движения воздуха, то краски будут менять свое положение медленно и правильно, если даже глаз и пузырь и все тела, посылающие какой-либо свет или отбрасывающие какую-либо тень, остаются неподвижными. Поэтому их цвета происходят от некоторой правильной причины, не зависящей от границы тени. Какая это причина, — будет показано в следующей книге.

К этим опытам может быть добавлен десятый опыт первой книги, в котором солнечный свет в темной комнате, проходя через параллельные поверхности двух призм, составленных вместе в форме параллелепипеда, делался полностью однородного желтого или красного цвета при выходе из призм. Здесь, при получении этих цветов, граница тени не имеет никакого значения, ибо свет меняется из белого последовательно в желтый, оранжевый и красный без всякого изменения границы тени; на обоих краях выходящего света, где противоположные границы тени должны бы производить различные действия, свет остается тем же самым, будет ли он белым, желтым, оранжевым или красным; в середине же выходящего света, где нет совсем границы тени, цвет тот же самый, как и на краях; весь свет при самом выходе имеет однородную окраску — белую, желтую, оранжевую или красную — и проходит дальше без изменений цвета, обычно предполагаемых под действием границы тени в преломленном свете после выхода. Эти цвета не могут возникать от каких-либо новых видоизменений света благодаря преломлениям, так как они последовательно меняются из белого в желтый, оранже-

вый и красный, хотя преломления остаются теми же самыми и происходят противоположным образом в параллельных поверхностях, уничтожающих одна действия другой. Эти цвета не происходят, следовательно, от каких-либо модификаций света, вызываемых преломлениями или тенями, но имеют другую причину. Какова эта причина, мы показали выше, в десятом опыте, и нет нужды ее здесь повторять.

Есть, однако, другое существенное обстоятельство в этом опыте: выходящий свет преломлялся третьей призмой *HIK* (фиг. 22, часть I) к бумаге *PT*, где отбрасывал обычные цвета призмы: красный, желтый, зеленый, синий, фиолетовый. Если эти цвета возникают вследствие преломлений в этой призме, изменяющей свет, то они должны бы присутствовать в свете до падения на эту призму. Однако в том опыте мы нашли, что когда, при вращении двух первых призм вокруг их общей оси, исчезали все цвета, за исключением красного, то свет, имевший эту красную окраску, оставаясь одним, был того же самого красного цвета и до падения на третью призму. И вообще мы видели из других опытов, что когда лучи, отличающиеся по преломляемости, отделяются один от другого и какой-нибудь сорт из них рассматривается отдельно, то окраска света, создаваемого им, не может измениться никаким преломлением или отражением, как должно бы произойти, если бы цвета были не чем иным, как модификациями света, вызываемыми преломлениями, отражениями, или тенями. Эту неизменяемость цвета я опишу теперь в следующем предложении.

ПРЕДЛОЖЕНИЕ II. Теорема II.

Всякий однородный свет имеет собственную окраску, отвечающую степени его преломляемости, и такая окраска не может изменяться при отражениях и преломлениях [57].

В опытах четвертого предложения первой части, когда я отделял разнородные лучи один от другого,

спектр *pt*, образуемый разделенными лучами, на своем протяжении от конца *p*, на который падали наиболее преломляемые лучи, до другого конца *t*, на который падали наименее преломляемые лучи, казался окрашенным таким рядом цветов: фиолетовый, индиго, синий, зеленый, желтый, оранжевый, красный, с непрерывной последовательностью постоянно меняющихся промежуточных цветов. Таким образом было видно столько же степеней цветов, сколько было сортов лучей, различающихся по преломляемости.

Опыт 5. Я удостоверился в том, что эти цвета не изменяются преломлением, преломляя иногда одну весьма малую часть этого света, иногда другую весьма малую часть, как описано в двенадцатом опыте первой части. При таком преломлении окраска цвета никогда, даже мало, не изменялась. Если преломлялась часть красного света, она оставалась полностью той же самой окраски, как и раньше. Это преломление не давало ни оранжевого, ни желтого, ни зеленого или синего или какого-либо нового цвета. Цвет совершенно не менялся при повторных преломлениях, оставаясь тем же самым, как и в начале. Подобное постоянство и неизменяемость я нашел также у синего, зеленого и других цветов. Также, когда я смотрел через призму на некоторое тело, освещенное какой-либо частью такого однородного света, как описано в четырнадцатом опыте первой части, я не мог заметить какой-либо новой окраски, образовавшейся таким путем. Все тела, освещенные сложным светом, кажутся через призму неясными (как было сказано выше) и окрашенными в различные новые цвета; тела же, освещенные однородным светом, кажутся через призму не менее отчетливыми и окрашены так же, как и при рассматривании простым глазом. Их цвета совершенно не меняются преломлением в поставленной на пути света призме. Я говорю здесь об ощутимом изменении цвета, ибо свет, который я здесь называю однородным, не абсолютно однороден, и благодаря его разнородности должны возникать некоторые небольшие изменения окраски. Но если эта разнородность так мала, как это может быть

достигнуто опытами, указанными в четвертом предложении, то изменение неощутимо, и поэтому в тех опытах, где судьей является чувство, оно совершенно не должно быть заметно.

Опыт 6. Поскольку эти цвета неизменяемы при преломлениях, постольку же они неизменны при отражениях, ибо все белые, серые, красные, желтые, зеленые, синие, фиолетовые тела, как бумага, пеплы, сурик, аурипигмент, индиго, лазурь, золото, серебро, медь, трава, синие цветы, фиалки, мыльные пузыри, окрашенные в различные цвета, павлиньи перья, настойка *Lignum Nephriticum* [58] и тому подобные тела кажутся совершенно красными в красном однородном свете, совершенно синими в синем свете, совершенно зелеными в зеленом, и так же по отношению к другим цветам.

В однородном свете любой окраски все тела казались в точности того же самого цвета, с той только разницей, что некоторые из них отражали этот свет более сильно, другие — более слабо. Я, однако, никогда не находил тела, которое при отражении однородного света меняло бы заметно его цвет.

Из всего этого явствует, что если бы солнечный свет состоял из одного только сорта лучей, во всем мире был бы только один цвет, и нельзя было бы получить какой-нибудь новый цвет посредством отражений или преломлений; следовательно, разнообразие цветов зависит от сложности света.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ.

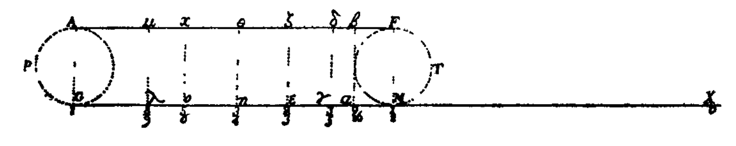
Однородный свет и лучи, кажущиеся красными или, скорее, заставляющие предметы казаться таковыми, я называю создающими красный цвет; лучи, заставляющие предметы казаться желтыми, зелеными, синими или фиолетовыми, я называю создающими желтый, создающими зеленый, создающими синий, создающими фиолетовый цвет, и так же по отношению к остальным. И если иногда я говорю о свете или лучах, как окрашенных или имеющих цвета, то не следует понимать, что я говорю

философски и точно, — я выражаюсь грубо и в соответствии с теми представлениями, которые может получить простой народ, видя все эти опыты. Ибо лучи, если выражаться точно, не окрашены. В них нет ничего другого, кроме определенной силы или предрасположения к возбуждению того или иного цвета. Ибо, как звук колокольчика, или музыкальной струны, или других звучащих тел есть не что иное как колеблющееся движение, и в воздухе от предмета распространяется не что иное как это движение, вызывающее в чувствилище [59] ощущение такого движения в форме звука, так же и окраска предмета является не чем иным как предрасположением отражать тот или другой сорт лучей более сильно, чем остальные; в самих лучах нет ничего иного, кроме предрасположения распространять то или иное движение в чувствилище, в последнем же появляются ощущения этих движений в форме цветов.

ПРЕДЛОЖЕНИЕ III. Задача I.

Определить преломляемость различных сортов однородного света, соответствующих различным цветам.

Для решения этой задачи я сделал следующий опыт [59a].



Фиг. 33.

Опыт 7. Ограничив прямолинейные стороны AF, GM (фиг. 33) спектра цветов, полученного от призмы, резко отчетливыми линиями, как описано в пятом опыте первой части, я нашел в спектре все однородные цвета в том же порядке и положении один за другим, как в спектре простого света, описанном в четвертом предложении той же части, ибо круги, из которых составлен

спектр сложного света PT, пересекающиеся и смешивающиеся один с другим в средней части спектра, не смешиваются в их крайних частях, где они касаются прямолинейных сторон AF и GM. Поэтому на этих прямолинейных сторонах, когда они отчетливо ограничены, нет новых цветов, полученных вследствие преломления. Я наблюдал также, что если где-нибудь между двумя крайними кругами TMF и PGA прямая линия, например, $\gamma\delta$, была поперечной к спектру, так что ее концы падали перпендикулярно на прямолинейные стороны спектра, то вся линия от одного конца до другого была одного и того же цвета и степени цвета. Я начертил поэтому на бумаге периметр спектра $FAPGMT$ и, производя третий опыт первой части, держал бумагу так, чтобы спектр мог падать на начерченную фигуру, точно совпадая с нею; в это время ассистент, глаза которого были разборчивее моих в отношении различения цветов, отмечал прямыми линиями $\alpha\beta$, $\gamma\delta$, $\varepsilon\zeta$ и т. д., проводимыми поперек спектра, границы цветов: границу красного — $M\alpha\beta F$, оранжевого — $\alpha\gamma\delta\beta$, желтого — $\gamma\varepsilon\zeta\delta$, зеленого — $\varepsilon\eta\theta\zeta$, синего — $\eta o \varkappa \theta$, индиго — $o\lambda\mu\varkappa$, фиолетового — $\lambda G A \mu$. Повторяя ту же операцию несколько раз на том же самом листе бумаги и на других, я нашел, что наблюдения довольно хорошо совпадали одно с другим и что указанные поперечные линии делили прямолинейные стороны GM и AF тем же способом, как и в музыкальной хорде. Продолжим GM до X, причем MX пусть будет равным GM, и представим себе, что GX, λX, oX, ηX, εX, γX, αX, MX находятся друг к другу в отношении: 1, $^8/_9$, $^5/_6$, $^3/_4$, $^2/_3$, $^3/_5$, $^9/_{16}$, $^1/_2$, изображая таким образом длины струн ключа и тона[60], малой терции, кварты, квинты, большой сексты, септимы и октавы ключа[61]. Интервалы $M\alpha$, $\lambda\alpha$, $\gamma\varepsilon$, $\varepsilon\eta$, ηo, $o\lambda$ и λG будут расстояниями, занимаемыми различными цветами (красным, оранжевым, желтым, зеленым, синим, индиго, фиолетовым)[62].

Эти интервалы, или пространства, определяющие разности преломлений лучей, приходящих к границам названных цветов, т. е. к точкам M, α, γ, ε, η, o, λ, G, могут считаться без заметной ошибки пропорциональными

разности синусов преломления этих лучей, если они имеют одинаковый синус падения; и так как общий синус падения наиболее и наименее преломляемых лучей при выходе из стекла в воздух относился (в опытах, описанных выше) к синусам преломления, как 50 к 77 и 78, то, разделяя разность между синусами преломления 77 и 78 так же, как линия *GM* делится указанными интервалами, будем иметь такие синусы преломления лучей, приходящих к границам цветов: 77, $77^1/_8$, $77^1/_5$, $77^1/_3$, $77^1/_2$, $77^2/_3$, $77^7/_9$, 78 при общем синусе падения 50 [63]. Таким образом синусы падений всех лучей, создающих красный цвет, при выходе из стекла в воздух относятся к синусам их преломлений не больше, чем 50 к 77, и не меньше, чем 50 к $77^1/_8$, но они меняются один относительно другого соответственно всем промежуточным отношениям. Синусы падения лучей, создающих зеленый свет, находятся в отношении к синусам их преломления во всех отношениях от 50 к $77^1/_3$ до 50 к $77^1/_2$. Подобными же указанными выше пределами определяются преломления лучей, относящихся к остальным цветам; синусы лучей, создающих красный цвет, простираются от 77 до $77^1/_8$, оранжевый — от $77^1/_8$ до $77^1/_5$, желтый — от $77^1/_5$ до $77^1/_3$, зеленый — от $77^1/_3$ до $77^1/_2$, синий — от $77^1/_2$ до $77^2/_3$, индиго — от $77^2/_3$ до $77^7/_9$ и фиолетовый — от $77^7/_9$ до 78.

Таковы законы преломлений при выходе из стекла в воздух, и, следовательно, по третьей аксиоме первой части этой книги, легко вывести законы преломлений при выходе из воздуха в стекло [64].

Опыт 8. Я нашел, кроме того, что при прохождении света из воздуха через различные соприкасающиеся преломляющие среды, как, например, через воду и стекло и затем снова через воздух (независимо от того, будут ли преломляющие поверхности параллельными или наклонными одна к другой), свет, часто исправляемый противоположными преломлениями так, что он выходит по линиям, параллельным линиям падения, продолжает оставаться белым. Но если выходящие лучи наклонны к падающим, то белый выходящий свет по мере удаления от места

выхода постепенно становится окрашенным по краям. Я испытал это, преломляя свет через стеклянную призму, помещенную внутри призматического сосуда с водой. Эти цвета указывают на расхождение и разделение разнородных лучей благодаря их неодинаковой преломляемости, что явствует полнее из дальнейшего. И, наоборот, остающаяся белизна доказывает, что при одинаковых падениях лучей не происходит разделения лучей выходящих и, следовательно, не существует неравенств в их общих преломлениях. Отсюда, мне кажется, можно получить две следующие теоремы.

1. Избытки синусов преломления различных сортов лучей над их общим синусом падения в том случае, когда преломление происходит при переходе из различных плотных сред непосредственно в одну и ту же более разреженную среду, положим, воздух, находятся друг к другу в данном отношении.

2. Отношение синуса падения к синусу преломления одного и того же сорта лучей при выходе из одной среды в другую составляется из отношения синуса падения к синусу преломления при выходе из первой среды в какую-нибудь третью среду и из отношения синуса падения к синусу преломления при выходе из этой третьей среды во вторую [65].

При помощи первой теоремы преломления лучей любого сорта, происходящие при выходе из какой-либо среды в воздух, становятся известными, если дано преломление лучей одного сорта. Если, например, желательно знать преломление лучей любого сорта при выходе из дождевой воды в воздух, то пусть при вычитании общего синуса падения из стекла в воздух из синусов преломления получаются остатки 27, $27^1/_8$, $27^1/_5$, $27^1/_3$, $27^1/_2$, $27^2/_3$, $27^7/_9$, 28. Положим теперь, что синус падения наименее преломляемых лучей относится к синусу их преломления при выходе из дождевой воды в воздух как 3 к 4; тогда разность этих синусов — 1 — относится к синусу падения 3, как наименьший из вышеуказанных остатков — 27 — относится к четвертому числу в пропорции, 81, и 81 будет общим синусом падения из дождевой

воды в воздух. Прибавив к этому синусу указанные выше остатки, вы получите искомые синусы преломлений: 108, $108\frac{1}{8}$, $108\frac{1}{5}$, $108\frac{1}{3}$, $108\frac{1}{2}$, $108\frac{2}{3}$, $108\frac{7}{9}$, 109.

При помощи второй теоремы можно найти преломление из одной среды в другую, если вы знаете преломление при переходе из обеих сред в третью. Если, например, синус падения каких-либо лучей при переходе из стекла в воздух относится к их синусу преломления, как 20 к 31, и синус падения того же луча при переходе из воздуха в воду относится к его синусу преломления, как 4 к 3, то синус падения этого луча при переходе из стекла в воду будет относиться к его синусу преломления, как отношения 20 к 31 и 4 к 3, соединенные вместе, т. е. как произведение 20 на 4 к произведению 31 на 3, т. е. как 80 к 93.

Если принять эти теоремы в оптику, то возникнет достаточно дела при широкой обработке этой науки по новому способу [65a] не только при изложении предметов, связанных с улучшением зрения, но также и при математическом определении всех видов явлений окраски, производимых преломлением; для этого не требуется ничего иного, кроме определения разделений разнородных лучей, их различных смесей и пропорций в каждой смеси. При помощи рассуждений такого рода я открыл почти все явления, описанные в этих книгах, и некоторые другие, менее нужные для этого предмета; на основании успехов, полученных в моих опытах, я могу обещать тому, кто будет делать правильные рассуждения и затем станет испытывать все предметы с хорошими стеклами и достаточной осмотрительностью, что ожидаемые явления не заставят себя ждать. Но прежде всего он должен знать, какие цвета возникнут из других цветов, смешанных в определенной пропорции.

ПРЕДЛОЖЕНИЕ IV. Теорема III.

При помощи смещения могут получаться цвета, подобные цветам однородного света по видимости, но не в отношении неизменности цветов и строения света.

И поскольку такие цвета более сложны, постольку они менее полны и интенсивны; при слишком большой сложности они могут так разрежаться и слабнуть, что исчезают, и смесь делается белой или серой. Помощью смешения могут также получаться цвета, не вполне похожие на цвета однородного света.

Ибо смесь однородного красного и желтого составляет оранжевый, похожий по видимости на цвет того оранжевого, который расположен в ряду несмешанных призматических цветов между ними; но свет одного оранжевого однороден по отношению к преломляемости, свет же другого разнороден; цвет одного при рассматривании через призму остается неизменным, цвет другого изменяется и разлагается на составные цвета — красный и желтый. Таким же образом другие, соседние, однородные цвета могут составлять новые цвета, подобные промежуточным однородным; так, желтый и зеленый дают цвет, промежуточный между ними, и если после этого прибавить синий, получится зеленый — средний цвет трех цветов, входящих в смесь; ибо, если желтый и синий оба находятся в равном количестве, они равно привлекают промежуточный зеленый к себе в смесь и удерживают его так, как будто бы он находился в равновесии, не склоняясь к желтому более, чем к синему, и оставаясь благодаря их смешанным действиям средним цветом. К этому смешанному зеленому можно затем прибавить несколько красного и фиолетового, и, однако, зеленый цвет исчезает не сразу, — он становится лишь не столь полным и живым; при возрастании красного и фиолетового он делается все более слабым, до тех пор, пока под превосходством добавленных цветов он не исчезнет, превращаясь в белый, либо в другой цвет. Таким образом, если к цвету какого-либо однородного света прибавить белого солнечного света, составленного из всех сортов лучей, то цвет не исчезнет и не изменит своего характера, — он только растворится; при дальнейшем прибавлении белого он будет растворяться непрерывно все более и более. Наконец, если перемешать красный с фиолетовым, то, соответственно различным пропорциям их,

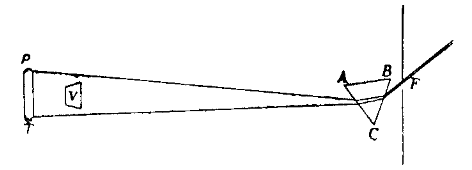
будут получаться различные пурпуры, не похожие по виду ни на один из цветов однородного света; из смеси этих пурпуров с желтым и синим можно получить другие, новые цвета.

ПРЕДЛОЖЕНИЕ V. Теорема IV.

Белизна и все серые цвета между белым и черным могут быть составлены из цветов, и белый солнечный свет составлен из всех первичных цветов, смешанных в должной пропорции.

Доказательство опытами.

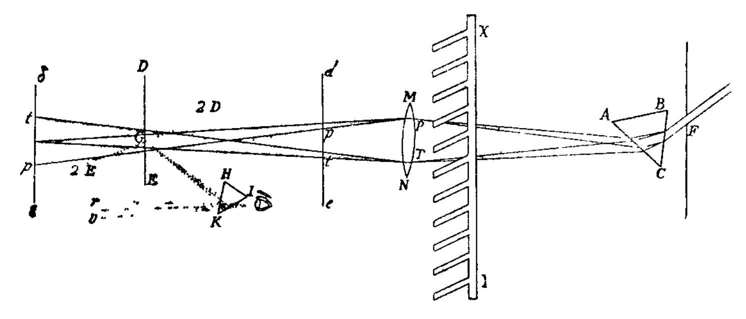
Опыт 9. Солнце светило внутрь темной комнаты через небольшое круглое отверстие в оконной ставне, и свет его преломлялся призмой, которая отбрасывала окрашенное изображение *PT* (фиг. 34) на противополож-



Фиг. 34.

ную стену. Я держал белую бумагу *V* таким образом по отношению к этому изображению, что бумага могла освещаться окрашенным светом, отражавшимся от изображения, не задерживая, однако, ни одной части солнечного света на пути от призмы к спектру. Я нашел, что в том случае, когда я держал бумагу ближе к какому-либо цвету, чем к остальным, она казалась той окраски, к которой была ближе всего, но когда она удалялась одинаково или почти одинаково ото всех цветов, так что могла освещаться одинаково всеми цветами, то казалась белой. Если некоторые цвета при этом последнем положении бумаги задерживались, то бумага теряла свою белую

окраску и являлась окрашенной в цвет остального, незадержанного света. Бумага освещалась, таким образом, светом различных цветов, именно: красным, желтым, зеленым, синим и фиолетовым, и каждая часть света удерживала свою собственную окраску, падая на бумагу и отражаясь затем в глаз; так что, если свет был один (остальной свет задерживался) и был в изобилии и преобладал в свете, отражаемом от бумаги, то он окрашивал ее своим собственным цветом; смешиваясь, однако, в должной пропорции с остальными цветами, он заставлял бумагу



Фиг. 35.

казаться белой, производя, следовательно, белый цвет при смешении с остальными. При распространении через воздух различные части окрашенного света, отраженного от спектра, постоянно сохраняют собственную окраску, ибо, как бы ни падали они на глаз наблюдателя, различные части спектра являются в их собственных цветах. Следовательно, они удерживают собственные цвета, падая на бумагу *V*, и при слиянии и совершенном смешении этих цветов составляют белизну света, отражаемого от бумаги.

Опыт 10. Пусть теперь спектр солнечного изображения *PT* (фиг. 35) падает на линзу *MN* шириною более четырех дюймов, находящуюся на расстоянии около шести футов от призмы *ABC* и имеющую такую форму, что свет, расходящийся от призмы, сходится и встречается

снова в ее фокусе *G* на расстоянии около шести или восьми футов от линзы, падая здесь перпендикулярно на белую бумагу *DE*. Если двигать бумагу вперед и назад, то можно заметить, что ближе к линзе, например, в *de*, полное солнечное изображение (положим, *pt*) будет казаться интенсивно окрашенным, так, как это объяснено выше; по мере удаления от линзы цвета будут постоянно сходиться и, смешиваясь все более и более, непрерывно будут растворять один другой, пока, наконец, в фокусе *G*, благодаря полному смешению цвета, не исчезнут полностью, превратившись в белизну; весь свет на бумаге будет при этом казаться малым белым кружком. Если отойти еще дальше от линзы, то ранее сходившиеся лучи будут теперь, перекрещиваясь в фокусе *G*, далее расходиться, снова вызывая появление цветов, теперь, однако, в обратном порядке: положим, в δε красный *t*, находившийся ранее внизу, теперь находится наверху, фиолетовый же, ранее бывший наверху, — теперь внизу.

Остановим бумагу в фокусе *G*, где свет кажется совершенно белым и круглым, и рассмотрим его белизну. Я говорю, что она составлена из сходящихся цветов, ибо если какой-либо из этих цветов задержать у линзы, то белизна исчезнет и выродится в тот цвет, который возникает от сложения других, незадержанных цветов. Если затем задержанные цвета пропускаются и падают на этот сложный цвет, то они с ним смешиваются и при этом смешении восстанавливают белизну. Так, если задержать фиолетовый, синий и зеленый, то остающиеся желтый, оранжевый и красный составят на бумаге оранжевый; если затем заставить задержанные цвета падать на этот сложный оранжевый цвет, то вместе с ними восстанавливается белый. Также, если задержать красный и фиолетовый, то остающиеся желтый, зеленый и синий составят на бумаге зеленый; если затем заставить падать красный и фиолетовый на этот зеленый, то вместе с ними он смешается в белый. При этом сложении в белый различные лучи не испытывают никаких изменений в их окрашивающих свойствах, действуя друг на друга; они

только смешиваются, производя при смешении их цветов белый, что явствует из следующих доводов.

Если поместить бумагу за фокусом *G*, положим, в $\delta\varepsilon$, и затем попеременно то задерживать красный цвет, то пропускать его снова, то фиолетовый цвет на бумаге при этом не будет испытывать изменений, которые должны бы произойти, если бы различные сорта лучей действовали один на другой в фокусе *G*, где они пересекаются. Также и красный цвет на бумаге не изменяется при переменном задерживании и пропускании фиолетового, пересекающего красный в фокусе.

Если поместить бумагу в фокусе *G* и рассматривать белое круглое изображение в *G* через призму *HIK*, причем это изображение благодаря преломлению в призме переносится в положение *rv* и является здесь окрашенным в различные цвета, именно: в фиолетовый — при *v*, красный — при *r* и в другие цвета в промежутках, и затем часто попеременно то задерживать, то пропускать красный цвет у линзы, то красный *r* будет соответственно исчезать и возвращаться, но фиолетовый *v* не будет при этом испытывать изменений. Точно так же, при переменном задерживании и пропускании синего у линзы, синий цвет в изображении *rv* будет соответственно исчезать и возвращаться без каких-либо изменений в красном *r*. Следовательно, красный цвет зависит от одного сорта лучей, синий — от другого, и эти сорта не действуют друг на друга в фокусе *G*, где они перемешиваются. То же заключение можно сделать и по отношению к другим лучам.

Я рассудил далее, что в том случае, когда наиболее преломляемые лучи *Pp* и наименее преломляемые *Tt*, сходясь, наклоняются друг к другу, то бумага, если ее держать очень наклонно к этим лучам в фокусе *G*, может отражать один сорт лучей обильнее, чем другой; таким способом отраженный свет в этом фокусе будет окрашен в цвет главенствующих лучей, если каждый из этих лучей удерживает свои цвета или окрашивающие свойства при составлении белого, производимом в фокусе. Если же они не удерживают этих свойств в белом,

но каждый из них получает предрасположение возбуждать чувство восприятия белого, то лучи не могут потерять своей белизны при таком отражении. Я наклонил поэтому бумагу весьма отлого к лучам, как во втором опыте этой части, так что наиболее преломляемые лучи могли отражаться более обильно, чем остальные; при этом белый цвет изменялся последовательно в синий, индиго и фиолетовый. Затем я наклонил бумагу в противоположном направлении, так что наименее преломляемые лучи могли становиться более обильными в отраженном свете, чем остальные; при этом белый свет превращался последовательно в желтый, оранжевый и красный.

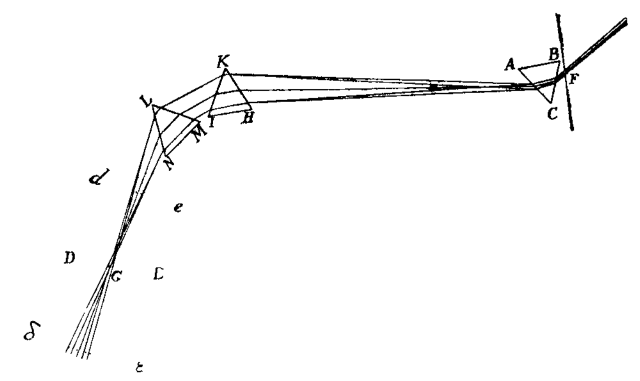
Наконец, я сделал прибор XY на манер гребня, зубцы которого в числе шестнадцати были шириною около дюйма с половиною, а расстояния между зубцами были шириною около двух дюймов. Вставляя последовательно зубцы этого прибора около линзы, я задерживал вставленным зубцом часть цветов, остальные же проходили через интервал между зубцами к бумаге DE и здесь рисовали круглое изображение солнца. Я поместил сначала бумагу так, что изображение казалось белым, когда гребня не было; при вставлении гребня в указанное положение белый цвет благодаря задержке части цветов у линзы постоянно изменялся в цвета, слагающиеся из тех цветов, которые не были задержаны; при движении гребня эти цвета постоянно изменялись таким образом, что при прохождении каждого зубца вдоль линзы все эти цвета — красный, желтый, зеленый, синий и пурпуровый — чередовались один за другим. Я заставлял поэтому все зубцы проходить последовательно мимо линзы; когда движение было медленным, то происходило постоянное чередование цветов на бумаге, но если я настолько ускорял движение, что цвета не могли уже различаться один от другого вследствие их быстрого чередования, то отдельные цвета переставали быть видимыми. Не было больше видно ни красного, ни желтого, ни зеленого, ни синего, ни пурпурового, — из слияния всех их возникал однородный белый цвет. В свете, казавшемся благодаря смешению всех цветов белым, не было ни

одной части действительно белой. Одна часть была красной, другая — желтой, третья — зеленой, четвертая — синей, пятая — пурпуровой, и каждая часть сохраняла свою собственную окраску до тех пор, пока не возбуждала чувствилища. Если впечатления медленно следуют одно за другим, так что они могут восприниматься в отдельности, то получаются различные ощущения цветов одного за другим в последовательном чередовании. Но если впечатления следуют одно за другим столь быстро, что не могут восприниматься в отдельности, то ото всех них возникает одно общее ощущение, не ощущение того или другого цвета в отдельности, но безразличное ко всем ним, т. е. ощущение белизны. Благодаря быстроте чередования впечатлений различных цветов они сливаются в чувствилище, и из этого слияния возникает смешанное ощущение. Если быстро двигать горящий уголь по кругу с постоянно повторяющимися вращениями, то весь круг будет казаться огненным; основанием этого является то, что ощущение угля в различных местах этого круга остается запечатленным в чувствилище ко времени возвращения угля в то же место. Также при быстром чередовании цветов впечатление каждого цвета остается в чувствилище ко времени завершения обращения всех цветов и возвращения первого цвета снова. Поэтому впечатления всех чередующихся цветов находятся сразу в чувствилище и, соединяясь, вызывают ощущение всех цветов; из этого опыта явствует, что смешанные впечатления всех цветов возбуждают и производят ощущение белого, т. е. белизна слагается из всех этих цветов.

Если, теперь, удалить гребень так, чтобы все цвета могли сразу проходить от линзы к бумаге, смешиваясь там и отражаясь затем вместе в глаз наблюдателя, то их впечатления на чувствилище, смешиваясь более тонко и совершенно, должны вызывать еще большее ощущение белизны.

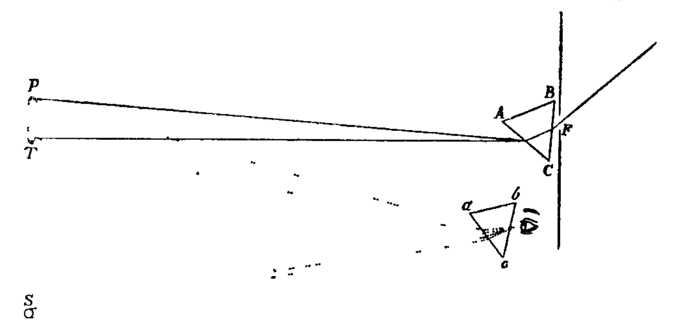
Вместо линзы вы можете пользоваться двумя призмами *HIK* и *LMN*, преломляющими окрашенный свет противоположно первому преломлению и собирающими

расходящиеся лучи снова в G, как это вы видите изображенным на тридцать шестой фигуре. Ибо там, где лучи встречаются и смешиваются, они будут составлять белый свет, как и при пользовании линзой.



Фиг. 36.

Опыт 11. Пусть окрашенное изображение солнца PT (фиг. 37) падает на стену темной комнаты, как в третьем



Фиг. 37.

опыте первой части, и пусть это изображение рассматривается через призму abc, параллельную призме ABC, при преломлении в которой возникает изображение; пусть, далее, изображение теперь кажется ниже, чем раньше,

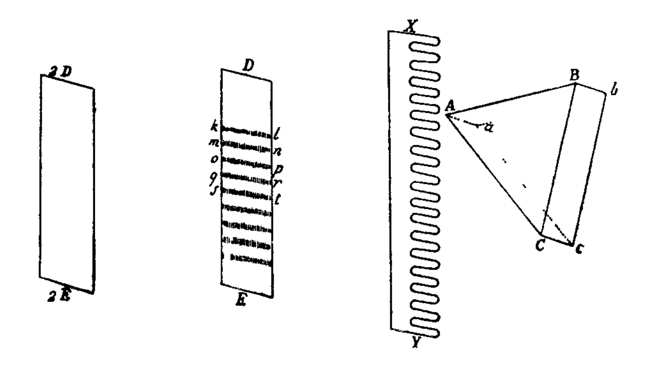
положим в S по отношению к красному цвету T. Если вы подойдете близко к изображению PT, спектр S будет казаться удлиненным и окрашенным подобно изображению PT; но если вы отойдете от него, то цвета спектра S будут сжиматься все более и более и, наконец, исчезнут, — спектр S станет совершенно круглым и белым; если вы будете отходить еще дальше, то цвета появятся снова, но в обратном порядке. Спектр S кажется белым в том случае, когда лучи различных сортов, сходящиеся от различных частей изображения PT к призме abc, неодинаково преломляются ею так, что при их прохождении от призмы к глазу они расходятся от одной и той же точки спектра S, после этого падают на одну и ту же точку на дне глаза и здесь смешиваются.

Если, далее, применить здесь гребень, зубцами которого можно поочередно задерживать цвета в изображении PT, то спектр S при медленном движении гребня будет постоянно окрашиваться последовательными цветами. Но когда при ускорении движения гребня чередование цветов станет столь быстрым, что они перестанут быть видимыми в отдельности, то спектр S благодаря слиянию и смешению ощущения всех цветов будет казаться белым.

Опыт 12. Солнце светит через широкую призму ABC (фиг. 38) на гребень XY, помещенный непосредственно за призмой; свет его, проходящий через промежутки между зубцами, падает на белую бумагу DE. Ширина зубцов равняется ширине промежутков, причем семь зубцов вместе с отверстиями между ними занимают в ширину один дюйм. Когда бумага была на расстоянии около двух или трех дюймов от гребня, то свет, проходивший через некоторое число промежутков гребня, отбрасывал столько же рядов цветов kl, mn, op, qr и т. д., параллельных друг другу и соприкасающихся без всякого смешанного белого цвета. При непрерывном движении гребня попеременно вверх и вниз эти ряды цветов спускались и поднимались на бумаге; когда движение было столь быстрым, что цвета не могли быть различимыми

один от другого, то вся бумага благодаря их слиянию и смешению в чувствилище казалась белой.

Пусть теперь гребень находится в покое, и бумага отодвинута дальше от призмы; отдельные ряды цветов расширяются и распространяются один в другой все больше и больше; при смешении цветов они растворяют один другой и, наконец, при расстоянии бумаги от гребня



Фиг. 38.

около фута или несколько большем (например, в положении $2D2E$) они настолько растворяют друг друга, что становятся белыми.

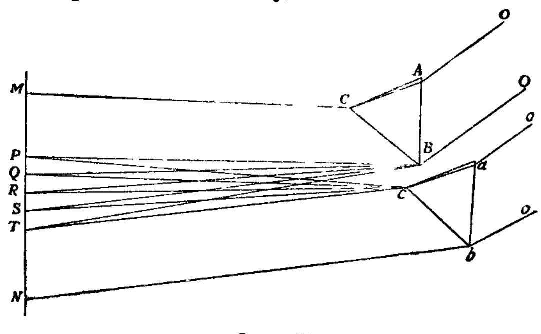
Пусть при помощи какого-нибудь препятствия весь свет, проходящий через один из интервалов между зубцами, задерживается, так что ряд цветов, исходящий оттуда, исчезает; вы увидите, что свет остальных рядов распространяется в место исчезнувшего ряда и окрашивает его. Если снова пропустить, как и раньше, задержанный ряд, то его цвета, падая на цвета других рядов и смешиваясь с ними, восстановят белизну.

Пусть теперь бумага $2D2E$ очень сильно наклонена к лучам, так что наиболее преломляемые лучи могут отражаться более обильно, чем остальные[56], и белый цвет бумаги благодаря избытку этих лучей изменится в синий и фиолетовый. Наклоним бумагу настолько же

в противоположную сторону, так что теперь наименее преломляемые лучи могут отражаться более обильно, чем остальные; благодаря их избытку белый свет изменится в желтый и красный. Отсюда следует, что различные лучи в белом свете удерживают их окрашивающие свойства, благодаря чему те из лучей, которые становятся более обильными, чем остальные, вызывают соответственно их избытку и превосходству свою собственную окраску.

Рассуждая таким же образом в применении к третьему опыту этой части, можно заключить, что белый цвет всего преломленного света при самом выходе, где он кажется столь же белым, как и при падении, является составленным из различных цветов.

Опыт 13. В предыдущем опыте отдельные интервалы между зубцами гребня выполняли роль такого же числа призм, каждый интервал производил явление, вызываемое одной призмой. Поэтому, воспользовавшись вместо



Фиг. 39.

таких интервалов несколькими призмами, я попробовал составить белый цвет, смешивая цвета призм; я делал это, пользуясь только тремя призмами, и даже двумя, как следует дальше. Пусть две призмы *ABC* и *abc* (фиг. 39), преломляющие углы которых *B* и *b* равны, помещены параллельно одна другой так, что преломляющий угол *B* одной призмы касается угла *c* при основании другой, и плоскости их *CB* и *cb*, через которые

выходят лучи, лежат одна над другой. Пусть, далее, свет, проходящий через призмы, падает на бумагу *MN* на расстоянии около 8 или 12 дюймов от призм. Цвета, образуемые внутренними пределами двух призм *B* и *c*, перемешиваются в *PT* и составляют там белый свет. Ибо если удалить одну из призм, то на том же месте *PT* появятся цвета другой призмы, когда же призма вновь помещается на свое место, так что ее цвета могут падать на цвета другой, то смесь их обоих восстановит белизну.

Этот опыт удается также, как я испытал, когда угол *b* нижней призмы немного больше, чем угол *B* верхней, и между внутренними углами *B* и *c* остается некоторое пространство *Bc*, как представлено на фигуре, преломляющие же плоскости *Bc* и *bc* не лежат на одной прямой и не параллельны. Ибо для успешности этого опыта не требуется ничего иного, кроме того, чтобы лучи всех сортов могли равномерно смешиваться на бумаге в месте *PT*. Если наиболее преломляемые лучи, идущие от верхней призмы, занимают все пространство от *M* до *P*, то лучи того же сорта, идущие от нижней призмы, должны начинаться у *P* и занимать все остающееся пространство отсюда до *N*. Если наименее преломляемые лучи, идущие от верхней призмы, занимают пространство *MT*, то лучи того же рода, идущие от другой призмы, должны начинаться у *T* и занимать остающееся пространство *TN*. Если какой-нибудь сорт лучей с промежуточной степенью преломляемости, идущий от верхней призмы, распространяется на пространстве *MQ*, другой сорт — на пространстве *MR* и третий сорт — на пространстве *MS*, то те же сорта лучей, идущие от нижней призмы, должны соответственно освещать остающиеся пространства *QN*, *RN*, *SN*. То же самое следует предполагать по отношению ко всем другим сортам лучей. Ибо таким образом лучи любого сорта будут рассеиваться равномерно и одинаково по всему пространству *MN*, и, всюду смешиваясь в одной и той же пропорции, они должны везде производить одни и те же цвета. Так как при этом смешении они производят бе-

лый во внешних пространствах MP и TN, то они должны поэтому производить белый свет и во внутреннем пространстве PT. Таково основание той смеси, посредством которой была получена белизна в этом опыте, и каким бы способом ни производил я подобную смесь, результатом всегда была белизна.

Наконец, если задерживать попеременно окрашенный свет двух призм, падающий на пространство PT, при помощи зубцов гребня надлежащего размера, то это пространство PT при медленном движении гребня будет всегда цветным, но при таком ускорении движения гребня, что чередующиеся цвета не могут более различаться один от другого, появляется белый цвет.

Опыт 14. До сих пор я производил белый цвет, смешивая цвета призмы. Если теперь нужно смешать цвета естественных тел, то можно взболтать до пены воду, несколько уплотненную мылом. После того как пена несколько отстоится, внимательно рассматривающему ее будут видны повсюду различные цвета на поверхности отдельных пузырьков; но для того, кто отойдет настолько, что цвета перестают быть различимыми один от другого, вся пена представится белой с совершенной белизной.

Опыт 15. Наконец, пытаясь составить белый цвет смешением цветных порошков, применяемых художниками, я заметил, что все цветные порошки подавляют и удерживают в себе весьма значительную часть света, которым они освещаются; они становятся цветными, отражая наиболее обильно свет их собственной окраски, все же другие цвета — значительно меньше, однако они не отражают света их собственной окраски столь обильно, как белые тела. Если, например, поместить красный свинец[66] и белую бумагу в красный свет окрашенного спектра, полученного в темной комнате преломлением в призме, как описано в третьем опыте первой части, то бумага будет казаться более светлой, чем красный свинец, и следовательно, отражает лучи, создающие красный цвет, более обильно, чем красный свинец. Если их держать в свете другой окраски, то свет, отражаемый бумагой, будет превосходить свет, отражаемый красным

свинцом, в значительно большей пропорции. Подобное же происходит и в порошках другой окраски. Поэтому смешивая такие порошки, мы не можем ожидать столь сильного и полного белого цвета, как от бумаги, — свет будет несколько сумрачным, как при смешении света и темноты или белого и черного, т. е. серым, коричневатым или рыжевато-бурым, каков цвет человеческих ногтей, мышей, пепла, обыкновенных камней, пыли и грязи на больших дорогах и тому подобного. Я часто получал такой темнобелый цвет, смешивая окрашенные порошки. Так, например, одна часть красного свинца и пять частей *Viride Aeris*[67] составляют коричневатый цвет, подобный цвету мыши, ибо эти два цвета составлены из стольких различных других, что в обоих вместе смешаны все цвета; красного свинца было взято меньше, чем *Viride Aeris*, благодаря полноте его цвета. Далее, одна часть красного свинца и четыре части лазури составляли коричневый цвет, склонный несколько к пурпуровому; при добавлении сюда некоторой смеси аурипигмента и *Viride Aeris* в должной пропорции смесь теряла пурпуровый оттенок и становилась совершенно коричневой. Но опыт удавался лучше без сурика следующим образом. Я прибавлял понемногу к аурипигменту некий полный яркий пурпур, который применяют художники, до тех пор, пока аурипигмент перестал быть желтым и стал бледнокрасным. Затем я разжижил этот красный, прибавляя немного *Viride Aeris* и лазури несколько больше, чем *Viride Aeris*, до тех пор, пока не получался темносерый или бледнобелый цвет, который не склонялся ни к одному цвету более, чем к другому. Благодаря этому получался цвет, равный по белизне золе или свежесрезанному дереву, или человеческой коже. Аурипигмент отражал больше света, чем какой-либо из других порошков, и более содействовал белизне, чем они. Трудно указать точные пропорции ввиду различной добротности порошков того же рода. Соответственно большей или меньшей полноте и светлоте цветов любого порошка его нужно применять в большей или меньшей пропорции.

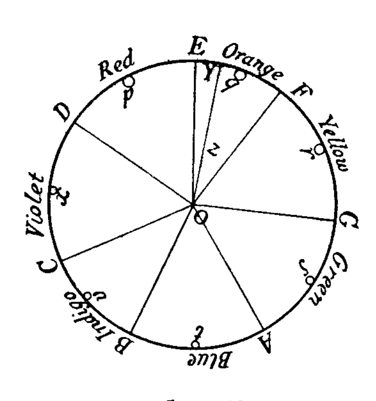
Если рассудить теперь, что эти серые и коричневые цвета могут быть также получены смешиванием белого и черного и, следовательно, отличаются от совершенного белого не по роду цветов, но только по степени светлот, то станет ясным, что для того, чтобы сделать их совершенно белыми, требуется только достаточно увеличить их свет. Наоборот, если при увеличении их света можно достичь совершенной белизны, то отсюда будет следовать, что они такого же цвета, как и наилучший белый, и отличаются от него только по количеству света. Я проверил это следующим образом. Я взял треть упомянутой выше серой смеси (составленной из аурипигмента, пурпура, лазури и *Viride Aeris*) и разложил ее толстым слоем на полу моей комнаты в том месте, где на него светило солнце через открытое окно; рядом, в тени, я положил лист белой бумаги такой же толщины. Когда я отошел на расстояние 12 или 18 футов оттуда, так что не мог различать неровностей поверхности порошка и маленьких теней, отбрасываемых зернистыми частицами, то порошок казался ярко белым, превосходя по белизне даже бумагу, особенно когда бумага несколько затенялась от света облаков; в этом случае бумага в сравнении с порошком казалась такого же серого цвета, как раньше порошок. Помещая, однако, бумагу там, где солнце светило через оконное стекло, или закрывая окно так, чтобы солнце освещало порошок сквозь стекло, и другими подобными способами увеличивая и уменьшая свет, освещавший порошок и бумагу, я мог увеличивать свет, падавший на порошок, в такой пропорции в сравнении со светом, освещающим бумагу, что то и другое казались точно одинаковой белизны. Когда во время этого опыта один друг пришел посетить меня, я задержал его у двери и, прежде чем сказать, какие цвета это были или что я делал, я спросил его: «Какой из двух белых цветов лучше, и чем они отличаются?» Хорошо рассмотрев их на этом расстоянии, он ответил, что оба белых цвета хороши, что он не может сказать, который лучше и чем их цвета отличаются. Если, теперь, вы рассудите, что

этот белый цвет порошка на солнечном свету был составлен из цветов, которыми обладают составляющие порошки (аурипигмент, пурпур, лазурь и *Viride Aeris*) в том же солнечном свету, вы должны будете признать на основании этого опыта, так же, как и на основании прежних, что совершенная белизна может быть составлена из цветов.

Из того, что сказано, очевидно, таким образом, что белизна солнечного света составлена изо всех цветов, которыми различные сорта лучей, составляющих указанный свет, окрашивают бумагу, или какое-либо иное белое тело, на которое они падают, когда благодаря их различным преломляемостям они разделяются, ибо эти цвета, по *предложению II*, неизменяемы; и когда все такие лучи с их цветами снова смешиваются, то они вновь производят тот же белый свет, как и раньше.

ПРЕДЛОЖЕНИЕ VI. Задача II.

В некоторой смеси первичных цветов даны количество и качество каждого из них. Найти цвет смеси.



Фиг. 40.

Из центра O (фиг. 40) радиусом OD опишем круг ADF и разделим окружность на семь частей: DE, EF, FG, GA, AB, BC, CD, пропорциональных семи музыкальным тонам или интервалам восьми звуков — *соль, ля, фа, соль, ля, ми, фа, соль*, содержащимся в октаве, т. е. пропорциональных числам: $^1/_9$, $^1/_{16}$, $^1/_{10}$, $^1/_9$, $^1/_{16}$, $^1/_{16}$, $^1/_9$ [68]. Пусть первая часть DE представляет красный цвет, вторая EF — оранжевый, третья FG — желтый, четвертая CA — зеленый, пятая AB — синий, шестая BC — индиго и седьмая CD — фиолетовый.

Представьте себе, что это цвета несмешанного света, переходящие постепенно один в другой, как цвета призм; окружность *DEFGABCD* изображает полный ряд цветов от одного конца солнечного окрашенного изображения до другого, так что от *D* до *E* находятся все степени красного, в *E* — средний цвет между красным и оранжевым, от *E* до *F* — все степени оранжевого, в *F* — средний между оранжевым и желтым, от *F* до *G* — все степени желтого, и так далее. Пусть *p* будет центр тяжести дуги *DE*, *q*, *r*, *s*, *t*, *u*, *x* — соответственно центры тяжести дуг *EF*, *FG*, *GA*, *AB*, *BC* и *CD*; опишите вокруг этих центров тяжести круги, пропорциональные числу лучей каждого цвета в данной смеси, т. е. круг *p*, пропорциональный числу лучей в смеси, создающих красный цвет, круг *q*, пропорциональный числу лучей в смеси, создающих оранжевый цвет, и так далее по отношению к остальным. Найдите общий центр тяжести всех этих кругов *p*, *q*, *r*, *s*, *t*, *u*, *x*. Пусть этот центр будет *z*; из центра круга *ADF* через *z* к окружности проведите прямую линию *OY*: место точки *Y* на окружности будет показывать цвет, возникающий от сложения всех цветов данной смеси, линия же *Oz* будет пропорциональной полноте, или интенсивности, цвета, т. е. его расстоянию от белизны. Так, если *Y* падает посредине между *F* и *G*, смешанный цвет будет наилучшим желтым; если *Y* отклоняется от середины по направлению к *F* или *G*, то смешанный цвет будет соответственно желтым, склонным к оранжевому или зеленому. Если *z* находится на окружности, окраска будет интенсивной и цветущей в высшей степени; если *z* находится посредине между окружностью и центром, окраска будет наполовину менее интенсивной, т. е. того цвета, который получается растворением наиболее интенсивного желтого равным количеством белого; если *z* находится в центре *O*, то окраска потеряет всю свою интенсивность и станет белой. Но следует заметить, что если точка *z* падает на линию *OD* или поблизости от нее и главными ингредиентами будут красный и фиолетовый, то составной цвет не будет ни одним из

призматических цветов, но пурпуровым, склонным к красному или фиолетовому, соответственно тому, лежит ли точка z от линии DO в сторону E или в сторону C, и вообще сложный фиолетовый более ярок и огнист, чем несмешанный фиолетовый. Также если смешивать в равной пропорции только два первичных цвета, которые на кругу противоположны один другому, то точка z упадет в центр O, однако смешанный цвет этих двух цветов не будет совершенно белым, но обладает некоторой слабой окраской, не имеющей названия. Ибо я никогда не мог при смешении только двух первичных цветов получить совершенно белый; я не знаю, можно ли составить его смешением трех цветов, равно отстоящих по окружности, но я не сомневаюсь, что это возможно при помощи четырех или пяти цветов; однако все эти любопытные вещи имеют малое или никакого значения для понимания явлений природы, ибо во всех белых цветах, производимых природой, бывает обыкновенно смесь всех сортов лучей и, следовательно, сложение всех цветов.

Для того чтобы дать пример этого правила, предположим, что цвет составлен из таких однородных цветов: одной части фиолетового, одной части индиго, двух частей синего, трех частей зеленого, пяти частей желтого, шести частей оранжевого и десяти частей красного. Пропорционально этим частям опишем соответственно круги: x, v, t, s, r, q, p таким образом, что круг v будет единица, круг t — два, круг s — три и круги r, q и p — пять, шесть и десять. Затем я нахожу z — общий центр тяжести этих кругов — и, проводя через z линию OY, вижу, что точка Y падает на окружность между E и F, несколько ближе к E, чем к F; отсюда я заключаю, что окраска, составленная из таких ингредиентов, будет оранжевой, склонной несколько больше к красной, чем к желтой. Я нахожу также, что Oz немного меньше половины OY, откуда заключаю, что эта оранжевая окраска имеет полноту и интенсивность, несколько меньшую половины несмешанного оранжевого, то-есть она является таким оранжевым цветом, который

может быть составлен смешением однородного оранжевого с хорошим белым в отношении линии Oz к линии zY, причем эта пропорция относится не к количествам смешиваемых оранжевого и белого порошков, но к количествам света, отражаемого от них.

Я считаю это правило достаточно точным для практики, однако неточным математически: справедливость этого может быть достаточно доказана для глаза, если задержать один из цветов у линзы в десятом опыте этой части, ибо остальные, незадержанные цвета, проходящие к фокусу линзы, составят там точно или почти точно такой цвет, который должен получаться согласно этому правилу при их смешении.

ПРЕДЛОЖЕНИЕ VII. Теорема V.

Все цвета вселенной, создаваемые светом и не зависящие от силы воображения, будут либо цветами однородного света, либо смешанными из них, причем они будут смешиваться точно или почти точно по правилу предыдущей задачи.

Ибо было доказано (*предложение 1, часть 2*), что изменения цветов, получаемые при преломлениях, происходят не от новых модификаций лучей, производимых этими преломлениями, и не от различных ограничений света и тени, каково было постоянное и общее мнение философов. Также было доказано, что различные цвета однородных лучей постоянно соответствуют их степеням преломляемости (*предложение 1, часть 1,* и *предложение 2, часть 2*), и что эти их степени преломляемости не могут быть изменены преломлениями и отражениями (*предложение 2, часть 1*), и, следовательно, эти их цвета также неизменяемы. Также было доказано прямым преломлением и отражением однородных лучей в отдельности, что их цвета не могут быть изменены (*предложение 2, часть 2*). Равным образом было доказано, что при смешении различных сортов лучей и перекрещивании, при прохождении через одно и то же пространство, они не действуют друг на друга и не изменяют

окрашивающие свойства один другого (*опыт 10, часть 2*), смешения же их действия в чувствилище вызывают ощущение, отличное от того, которое производит каждый в отдельности, т. е. ощущение средней окраски между их собственными цветами; в частности, когда благодаря взаимодействию и смешениям всех сортов лучей производится белая окраска, то этот белый цвет является смесью всех цветов, которые имели бы лучи в отдельности (*предложение 5, часть 2*). Лучи в этой смеси не теряют и не изменяют своих различных окрашивающих качеств, но благодаря различным видам их действий, смешиваемых в чувствилище, вызывают ощущение средней окраски между всеми цветами, каковая и есть белизна. Ибо белизна есть средняя окраска между всеми цветами, будучи безразличной ко всем ним и с одинаковой легкостью окрашиваясь каждым из них. Красный порошок, смешанный с небольшим количеством синего, или синий с небольшим количеством красного не теряют сразу своей окраски, но белый порошок, смешанный с каким-либо цветом, сразу окрашивается этим цветом и одинаково способен окрашиваться каким угодно цветом. Было показано также, что, поскольку солнечный свет смешан изо всех сортов лучей, постольку белизна его является смесью цветов всех сортов лучей; эти лучи изначально обладают различными окрашивающими качествами, так же как и различными преломляемостями; удерживая эти свойства постоянно неизменными, несмотря на какие угодно преломления или отражения, претерпеваемые лучами, или на отделения какого-нибудь сорта солнечных лучей от остальных различными способами (отражением в *опытах 9* и *10 части I* или преломлением, как происходит при всех преломлениях), они проявляют собственные цвета. Эти вещи были доказаны, и сумма всех их приводит к предложению, которое здесь требуется доказать. Ибо если солнечный свет смешан из различных сортов лучей, причем каждый изначально обладает различной преломляемостью и окрашивающими качествами и удерживает эти свои первоначальные свойства без изменений, несмотря на преломления и отра-

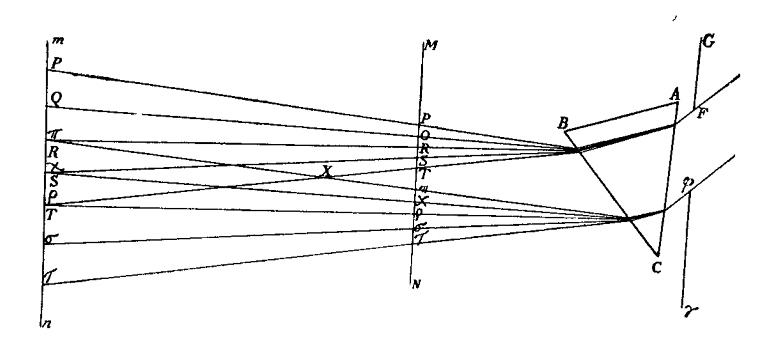
жения и различные выделения или смешения, то все цвета в мире должны быть такими же, каковые постоянно возникают из первоначальных окрашивающих качеств лучей, из коих состоит свет, благодаря которому эти цвета становятся видимыми. И поэтому, если спрашивается, какова причина какого-либо цвета, то нам следует только рассудить, каким образом лучи солнечного света отделились одни от других или смешались при отражениях, преломлениях или благодаря другим причинам; иными словами, нужно найти сорта лучей, из которых составлен данный цвет, и пропорции их и затем при помощи последней задачи найти цвет, который должен произойти при смешении этих лучей (или их цветов) в этой пропорции. Я говорю здесь о цветах, поскольку они возникают от света; иногда они появляются от других причин, как, например, силою фантазии мы видим цвета во сне, сумасшедший видит перед собою вещи, которых нет, или при ударе глаза мы видим огонь, или при надавливании глаза в одном из углов и при взгляде в сторону мы видим цвета, подобные глазку павлиньего пера. Там, где нет таких или подобных причин, цвета всегда соответствуют сорту или сортам лучей, из которых состоит свет, как я постоянно находил во всех явлениях цветов, которые мог до сих пор исследовать. В следующих предложениях я дам примеры этого в чрезвычайно примечательных явлениях.

ПРЕДЛОЖЕНИЕ VIII. Задача III.

Объяснить цвета призм при помощи открытых свойств света.

Пусть ABC (фиг. 41) представляет призму, преломляющую солнечный свет, входящий в темную комнату через отверстие $F\varphi$ почти такой же ширины, как и призма. Пусть, далее, MN представляет белую бумагу, на которой отбрасывается преломленный свет; положим, что наиболее преломляемые лучи, т. е. лучи, создающие самый глубокий фиолетовый цвет, падают на пространство $P\pi$; наименее преломляемые лучи, или лучи,

создающие самый глубокий красный, падают на пространство $T\tau$; средний сорт лучей, создающих цвет между индиго и синим, падает на пространство $Q\chi$; средний сорт лучей, создающих зеленый цвет, падает на пространство $R\rho$; средний сорт лучей между создающими желтый и оранжевый цвет — на пространство $S\sigma$; другие



Фиг. 41.

промежуточные сорта падают на промежуточные пространства. Таким образом, пространства, на которые соответственно падают различные сорта лучей, будут благодаря различной преломляемости этих сортов одно ниже другого. Если, теперь, бумага *MN* столь близка к призме, что пространства *PT* и $\pi\tau$ не перекрещиваются одно с другим, то промежуток между ними $T\pi$ будет освещаться всеми сортами лучей в таких отношениях друг к другу, которые они имеют при самом выходе из призмы, т. е. белым цветом. Пространства же *PT* и $\pi\tau$ с обеих сторон $T\pi$ не будут освещаться всеми лучами и потому будут казаться окрашенными. В частности в *P*, где падают только лучи, создающие крайний фиолетовый цвет, окраска должна быть наиболее глубокой фиолетовой. В *Q*, где перемешаны лучи, создающие фиолетовый цвет и индиго, должна быть фиолетовая окраска, более склонная к индиго. В *R*, где перемешаны

лучи, создающие фиолетовый, индиго, синий и половину зеленого цвета, они должны (по построению второй задачи) составить окраску среднюю между индиго и синим. В S, где перемешаны все лучи, за исключением создающих красный и оранжевый, их цвета должны по тому же правилу составить слабую синюю окраску, более склонную к зеленому, чем к индиго. По мере продвижения от S к T эта синяя окраска будет все время слабеть и растворяться, и в T, где начинают смешиваться все цвета, она кончается белизной.

Также по другую сторону белого у τ, где находятся только лучи наименее преломляемые, или создающие крайний красный цвет, окраска должна быть самой глубокой красной. У σ смесь красного и оранжевого составит красный, склонный к оранжевому. В ρ смесь красного, оранжевого, желтого и половины зеленого должна составить среднюю окраску между оранжевой и желтой. У χ смесь всех цветов, за исключением фиолетового и индиго, должна составить слабый желтый, более склонный к зеленому, чем к оранжевому. Эта желтая окраска будет непрерывно слабеть и растворяться по мере продвижения от χ к π, где при смешении всех сортов лучей она станет белой.

Такие цвета должны бы появиться, если бы солнечный свет был совершенно белым. Но так как он склонен к желтому, то избыток лучей, создающих желтый и окрашивающих солнечный свет этим цветом, смешиваясь со слабым синим между S и T, превратит его в слабый зеленый. Таким образом порядок цветов от P до τ должен быть следующий: фиолетовый, индиго, синий, весьма слабый зеленый, белый, слабый желтый, оранжевый, красный. Так следует по вычислению, и тот, кому будет угодно посмотреть цвета, создаваемые призмой, найдет то же самое и в природе.

Таковы цвета по обе стороны белого, когда бумага помещена между призмой и точкой X, где цвета встречаются и белый цвет, лежащий между ними, исчезает. Если передвигать бумагу дальше от призмы, то наиболее преломляемые и наименее преломляемые лучи

будут отсутствовать в середине света, остальные же лучи, находящиеся там, при смешении будут производить более полную зеленую окраску, чем раньше. Желтый и синий станут теперь также менее сложными и, следовательно, более интенсивными, чем раньше. Это также согласуется с опытом.

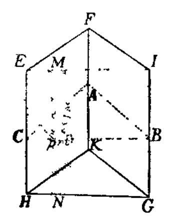
Если посмотреть через призму на белый предмет, окруженный чернотою или темнотой, то причина цветов, возникающих по краям, будет в значительной мере той же самой, как станет ясным тому, кто немного подумает над этим. Если черный предмет окружен белым, то цвета, видимые через призму, возникают из света окружающего белого, распространяясь в область черного; поэтому эти цвета являются в обратном порядке, чем в том случае, когда белый предмет окружен черным. То же следует иметь в виду, рассматривая предмет, одни части которого светлее других, ибо на границах более и менее светлых частей на основании тех же принципов цвета должны всегда возникать от избытка света в более светлой части, причем цвета — того же рода, как и в том случае, когда темные части будут черными, но только слабее и разреженнее.

Сказанное по отношению к цветам, создаваемым призмами, можно легко применить к цветам, получаемым при помощи стекол телескопов или микроскопов или при помощи жидких сред глаза. Ибо если объективное стекло телескопа толще с одной стороны, чем с другой, или если половина стекла или половина зрачка глаза закрыта темным веществом, то объективное стекло, или незакрытая часть его, или глаза могут рассматриваться как клин с кривыми сторонами; всякий же клин из стекла или другого прозрачного вещества действует как призма в отношении преломления света, проходящего через него [68a].

Из сказанного выше очевидно, каким образом возникают цвета в девятом и десятом опытах первой части благодаря различной преломляемости света. Но в опыте девятом можно заметить следующее: благодаря тому, что прямой свет солнца — желтый, избыток лучей, создаю-

щих синий цвет в отраженном пучке света *MN*, достаточен только для обращения указанного желтого в бледно-белый, склонный к синему, и не может окрасить его в ясно выраженный синий цвет. Поэтому для получения лучшего синего цвета я пользовался вместо желтого света солнца белым светом облаков, немного изменяя опыт следующим образом.

Опыт 16. Пусть *HFG* (фиг. 42) представляет призму на открытом воздухе, *S* — глаз наблюдателя, рассматривающего облака при помощи их света, входящего в призму через плоскую сторону *FIGK*, отражающегося в ней при основании *HEIG* и затем выходящего из призмы в глаз через плоскую сторону *HEFK*. Когда призма и глаз помещены надлежащим образом, так что углы падения и отражения при основании—около 40 градусов, то наблюдатель увидит дугу *MN* синего цвета, простирающуюся от одного конца основания до другого и обращенную к нему вогнутой стороной; часть основания *IMNG* за этой дугой будет ярче, чем другая часть *EMNH* по другую сторону дуги. Этот синий цвет *MN*, создаваемый не чем иным, как отражением от зеркальной поверхности, кажется столь странным и трудно объяснимым явлением при помощи обычной гипотезы философов [69], что я считаю его заслуживающим внимания. Для того чтобы понять его причину, положим, что плоскость *ABC* рассекает перпендикулярно плоские стороны и основание призмы. Проведем от глаза к линии *BC*, по которой эта плоскость пересекает основание, линии *Sp* и *St*, причем угол *SpC* — $50^1/_9$ градуса и угол *StC* — $49^1/_{28}$ градуса; точка *p* служит пределом, за которым ни один из наиболее преломляемых лучей, падение которых таково, что они могут отражаться в глаз, не может проходить сквозь основание призмы и преломляться: точка *t* будет подобным же пределом для наименее преломляемых лучей, т. е. пределом, за которым ни один из этих



Фиг. 42.

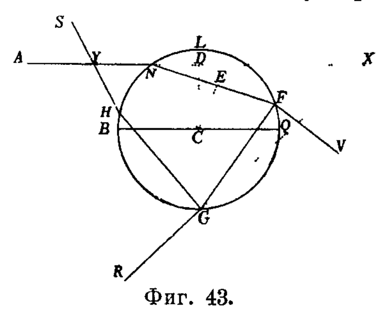
лучей, падение которых таково, что они могут попасть при помощи отражения в глаз, не может пройти сквозь основание. Точка r посередине между p и t будет подобным же пределом для лучей средней преломляемости. Поэтому все наименее преломляемые лучи, падающие на основание вне предела t, т. е. между t и B, и идущие оттуда к глазу, будут там отражаться. Но по эту сторону t, т. е. между t и C, многие из этих лучей будут пропускаться через основание. Все наиболее преломляющиеся лучи, падающие на основание за пределом p, т. е. между p и B, и имеющие возможность при отражении попасть оттуда в глаз, отражаются там, но между p и C многие из этих лучей пройдут через основание и преломятся; то же самое следует принять во внимание и в отношении лучей средней преломляемости по обеим сторонам точки r. Отсюда следует, что основание призмы будет всюду белым и ярким между t и B вследствие полного отражения всех сортов лучей к глазу. Всюду же между p и C вследствие пропускания многих лучей каждого сорта свет будет казаться более бледным, мрачным и темным. В точке r и в других местах p и t, где отражаются к глазу все более преломляемые лучи и пропускаются многие из менее преломляемых, избыток наиболее преломляемых лучей в отраженном свете окрасит последний в свой цвет, который является фиолетовым и синим. То же происходит, если взять линию $CprtB$ где угодно между концами призмы HG и EI.

ПРЕДЛОЖЕНИЕ IX. Задача IV.

При помощи обнаруженных свойств света объяснить цвета радуги.

Эта дуга видна только при дожде и солнце; она может быть получена искусственно при разбрызгивании воды, когда вода разбивается в воздухе, рассыпается на капли и падает вниз подобно дождю. Ибо солнце, освещая эти капли, несомненно, сделает эту дугу видимой для наблюдателя, стоящего в надлежащем положении к дождю и солнцу. Поэтому теперь согласились в том,

что радуга образуется вследствие преломления солнечного света в каплях падающего дождя. Это понимали некоторые древние, и в новое время тоже открыто и объяснено более точно знаменитым *Анточием де Доминис*, архиепископом в *Спалато*, в его книге *De Radiis Visus et Lucis*, опубликованной его другом *Бартолусом* в *Венеции* в 1611 году и написанной свыше 20 лет до того [70], ибо он учит там, что внутренняя дуга образуется в круглых каплях дождя посредством двух преломлений солнечного света и одного отражения между ними, внешняя же дуга образуется посредством двух преломлений и двух родов отражений между ними в каждой капле воды; он доказывает свои объяснения при помощи опытов, произведенных с фиалом, наполненным водою, и со стеклянными шарами, наполненными водою и помещенными на солнце так, что были видны цвета обеих дуг. То же объяснение приводил *Декарт* в своих Метеорах, исправив объяснение внешней дуги. Но так как они не понимали истинного происхождения цветов, то здесь необходимо провести это объяснение несколько дальше. Для понимания возникновения радуги представим себе, что капля дождя или какое-либо другое сферическое прозрачное тело изображается сферой *BNFG* (фиг. 43), описанной из центра *C* радиусом *CN*. Пусть *AN* будет одним из солнечных лучей, падающим на сферу в точке *N* и преломляющимся затем в *F*, где луч или выходит из сферы вследствие преломления по направлению *V*, или отражается в *G*; из *G* луч пусть либо выходит из сферы посредством преломления к *R*, либо отражается в *H*; из *H* луч выходит вследствие преломления к *S*, пересекая падающий луч в *Y*; продолжим *AN* и *RG* до пересечения в *X*, опустим

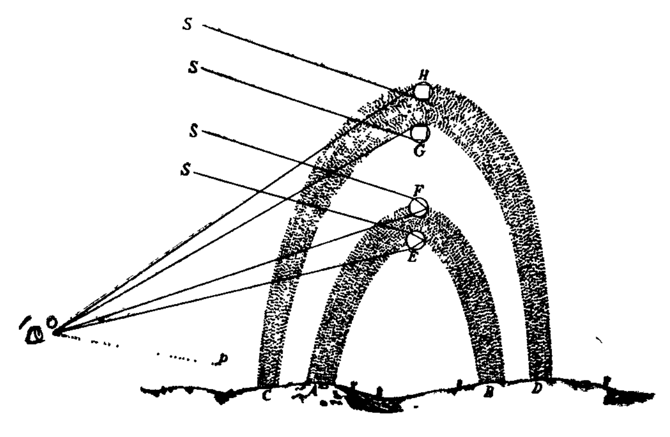


Фиг. 43.

на AX и NF перпендикуляры CD и CE и продолжим CD до встречи с окружностью в L. Параллельно падающему лучу AN проведем диаметр BQ, и пусть синус падения из воздуха в воду относится к синусу преломления, как I к R. Если теперь предположить, что точка падения N непрерывно движется от точки B до L, то дуга QF будет сначала возрастать, а затем убывать; то же самое будет происходить и с углом AXR, образуемым лучами AN и GR; дуга QF и угол AXR будут наибольшими, когда ND относится к CN, как $\sqrt{II-RR}$ к $\sqrt{3RR}$, в каковом случае NE относится к ND, как $2R$ к I. Угол AYS, образуемый лучами AN и HS, будет также сначала убывать и затем возрастать и станет наименьшим, когда ND относится к CN, как $\sqrt{II-RR}$ к $\sqrt{8RR}$, в каковом случае NE будет относиться к ND, как $3R$ к I. Угол, образуемый следующим выходящим лучом (т. е. лучом, выходящим после трех отражений) с падающим лучом AN, приходит к своей предельной величине, когда ND относится к CN, как $\sqrt{II-RR}$ к $\sqrt{15RR}$, в каковом случае NE будет относиться к ND, как $4R$ к I. Угол, образуемый следующим выходящим лучом, т. е. лучом, выходящим после четырех отражений, с падающим лучом, приходит к своему пределу, когда ND относится к CN, как $\sqrt{II-RR}$ к $\sqrt{24RR}$, в каковом случае NE будет относиться к ND, как $5R$ к I, и так далее до бесконечности, причем числа 3, 8, 15, 24 и т. д. получаются последовательным сложением членов арифметической прогрессии 3, 5, 7, 9 и т. д. Математики легко убедятся в справедливости всего этого [71].

Теперь следует заметить, что так же, как при прохождении солнца около тропиков дни возрастают и убывают очень мало в течение значительного времени, так же и указанные углы, приходя к пределам при возрастании расстояния CD, в некотором промежутке очень мало меняют свою величину; поэтому значительно большее число лучей, падающих на все точки N в квадранте BL, будет выходить в пределах этих углов, чем

под другими наклонами. Далее, следует заметить, что лучи, различающиеся по преломляемости, будут иметь различные пределы углов выхода и, следовательно, соответственно разным степеням преломляемости, будут выходить обильнее всего под различными углами и, разделяясь друг от друга, будут являться в их собственных



Фиг. 44.

цветах. Из предыдущей теоремы расчетом легко получить, каковы эти углы.

В наименее преломляемых лучах синусы I и R (как было найдено выше) будут 108 и 81; отсюда вычислением находим, что наибольший угол AXR будет 42 градуса и 2 минуты и наименьший угол AYS — 50 градусов и 57 минут. В наиболее преломляемых лучах синусы I и R будут 109 и 81, откуда вычислением находим, что наибольший угол AXR будет 40 градусов и 17 минут, наименьший угол AYS — 54 градуса и 7 минут.

Положим теперь, что O (фиг. 44) — глаз наблюдателя и OP — линия, проведенная параллельно солнечным лучам, и пусть POE, POF, POG, POH будут соответственно углы: 40 град. 17 мин., 42 град. 2 мин., 50 град. 57 мин. и 54 град. 7 мин. При вращении этих углов

вокруг их общей стороны *OP* они опишут своими другими сторонами: *OE, OF, OG, OH* края двух радуг *AF, BE* и *CH, DG*. Ибо если *E, F, G, H* будут каплями, помещающимися где-нибудь на конических поверхностях, описанных *OE, OF, OG* и *OH*, и освещаемыми солнечными лучами *SE, SF, SG, SH*, то угол *SEO*, равный углу *POE*, или 40 град. 17 мин., будет наибольшим углом, под которым наиболее преломляемые лучи могут после одного отражения преломиться к глазу; следовательно, все капли по линии *OE* будут посылать к глазу наиболее обильно наиболее преломляемые лучи, возбуждая поэтому в этой области в глазах самый глубокий фиолетовый цвет. Подобным же образом угол *SFO*, будучи равным углу *POF*, или 42 град. 2 мин., будет наибольшим углом, под которым наименее преломляемые лучи после одного отражения могут выйти из капель; поэтому такие лучи будут наиболее обильно приходить к глазу по линии *OF* и возбудят в глазах в этой области самый глубокий красный цвет. На том же основании лучи с промежуточными степенями преломляемости будут итти наиболее обильно от капель между *E* и *F* и возбудят в глазах промежуточные цвета в порядке, требуемом их степенями преломляемости, т. е. при продвижении от *E* к *F* в таком порядке: фиолетовый, индиго, синий, зеленый, желтый, оранжевый, красный. Но фиолетовый благодаря примеси белого цвета облаков будет казаться слабым и склонным к пурпуровому.

Угол *SGO*, будучи равным углу *POG*, или 50 град. 51 мин., является наименьшим углом, под которым могут выходить из капель наименее преломляемые лучи после двух отражений; поэтому наименее преломляемые лучи будут наиболее обильно приходить к глазу от капель по линии *OG* и возбудят в глазу в этой области самый глубокий красный цвет. Угол *SHO*, будучи равным углу *POH*, или 54 град. 7 мин., является наименьшим углом, под которым могут выходить из капель после двух отражений наиболее преломляемые лучи; поэтому такие лучи будут приходить к глазу наиболее обильно от капель по линии *OH* и возбудят в глазу в этой об-

ласти самый глубокий фиолетовый цвет. На том же основании капли в областях между *G* и *H* возбудят в глазу промежуточные цвета в порядке, требуемом их степенями преломляемости, т. е. при продвижении от *G* к *H*, или от внутренней стороны дуги к внешней, в таком порядке: красный, оранжевый, желтый, зеленый, синий, индиго, фиолетовый. Эти четыре линии *OE, OF, OG, OH* могут быть расположены где угодно на указанных выше конических поверхностях; поэтому сказанное относительно капель и цветов на этих линиях предполагается и в отношении капель и цветов повсюду на этих поверхностях.

Таким образом получатся две цветные радуги: одна — внутренняя и более сильная при одном отражении в каплях, другая — внешняя, более слабая при двух отражениях, ибо свет слабеет при каждом отражении. Эти цвета будут расположены в противоположном порядке друг к другу, и красный цвет обеих радуг будет граничить с пространством *CF* между ними. Ширина внутренней дуги *EOF*, измеренная поперек цветов, будет 1 град. 45 мин., ширина же внешней дуги *GOH* будет 3 град. 10 мин., и расстояние между ними *GOF* — 8 град. 15 мин., причем наибольший полудиаметр внутренней дуги, т. е. угол *POF* — 42 град. 2 мин., наименьший полудиаметр внешней дуги — 50 град. 57 мин. Таковы были бы размеры радуг, если бы солнце было точкой; благодаря ширине этого тела ширина дуг возрастает, расстояние же между ними уменьшится на половину градуса; таким образом ширина внутренней радуги будет 2 град. 15 мин. и внешней — 3 градуса 40 мин., расстояние между ними — 8 град. 25 мин., наибольший полудиаметр внутренней дуги — 42 град. 17 мин., наименьший полудиаметр внешней дуги — 50 град. 42 мин. Таковы же размеры радуг на небе, определяемые очень точно, когда их цвета сильны и совершенны. Ибо однажды средствами, которые тогда у меня имелись, я измерил наибольший полудиаметр внутренней радуги и нашел около 42 град., ширина же красной, желтой и зеленой части в этой радуге была 63 или 64 минуты,

кроме крайнего слабого красного, затемнявшегося яркостью облаков, для которого можно допустить еще 3 или 4 минуты. Ширина синей части была около 40 минут, кроме фиолетового, столь затемнявшегося яркостью облаков, что я не мог измерить его ширину. Предполагая, однако, что ширина синего и фиолетового вместе равняется ширине красного, желтого и зеленого вместе, получаем, что полная ширина радуги будет около $2^1/_4$ градусов, как и выше. Наименьшее расстояние между этой радугой и внешней было около 8 градусов 30 минут. Внешняя радуга была шире внутренней, но столь слабая, особенно в синей части, что я не мог отчетливо измерить ее ширину. В другой раз, когда обе дуги были видны отчетливее, я нашел измерением ширину внутренней радуги в 2 град. 10 мин., ширина же красной, желтой и зеленой части во внешней радуге относилась к ширине тех же цветов во внутренней радуге, как 3 к 2.

Это объяснение радуги подтверждается, далее, известным опытом (сделанным *Антонием де Доминис* и *Декартом*), заключающимся в подвешивании где-нибудь на солнечном свету стеклянного шара, наполненного водой; шар рассматривается в таком положении, чтобы лучи, идущие от него к глазу, составляли с солнечными лучами угол в 42 или 50 градусов. Ибо если угол будет около 42 или 43 градусов, то зритель (положим в *O*) увидит полный красный цвет на стороне шара, противолежащей солнцу, как это изображено в *F*; если этот угол будет меньше (например, при опускании шара в *E*), то будут видны другие цвета: последовательно желтый, зеленый и синий с той же стороны шара. Но если угол будет около 50 градусов (например, при подъеме шара в *G*), то со стороны шара, обращенной к солнцу, покажется красный цвет; если же угол будет делаться больше (например, при подъеме шара в *H*), то красный будет переходить последовательно в другие цвета: желтый, зеленый и синий. Я получал то же, оставляя шар в покое, но поднимая или опуская глаз, или двигая его иным способом, так, чтобы получить угол правильной величины.

Я слышал однажды утверждение, что при преломлении света свечи через призму в глаз при падении на глаз синего цвета наблюдатель увидит в призме красный цвет, при падении же в глаз красного — он увидит синий цвет; если бы это было верно, то цвета шара и радуги должны бы казаться в порядке, обратном тому, в котором мы их находим. Недоразумение проистекает, повидимому, из затруднительности различения цветов, которые падают на глаз, ибо цвета свечи очень слабы. В противоположность этому я имел несколько раз случай наблюдать в солнечном свете, преломляемом призмой, что зритель видит в призму всегда тот цвет, который падает на глаз. Я нашел то же самое верным и для света свечи. Ибо когда призма медленно передвигалась от линии, соединяющей свечу и глаз, то красный цвет являлся в призме первым, а затем синий; поэтому каждый из них виден тогда, когда он падает на глаз, так как красный проходит по глазу первым и затем синий.

Свет, проходящий через дождевые капли посредством двух преломлений без всяких отражений, должен казаться наиболее сильным на расстоянии около 26 градусов от солнца и убывать постепенно по обе стороны по мере возрастания и убывания расстояния. То же самое следует и по отношению к свету, проходящему через сферические градины. Если град несколько сплюснут, как это часто бывает, то проходящий свет может стать столь сильным на расстоянии несколько меньшем, чем 26 градусов, что вокруг солнца или луны образуется круг; если градины имеют надлежащую форму, то эти круги могут быть окрашенными внутри красным при помощи наименее преломляемых лучей и снаружи синим при помощи наиболее преломляемых лучей, особенно если в центрах градинок имеются темные шарики снега, задерживающие лучи внутри круга (как наблюдал *Гюгений*[45]) и делающие благодаря этому внутреннюю часть более ясно ограниченной, чем в других случаях. Такие градины, хотя и сферические, ограничивая свет снегом, могут делать круг красным внутри и бесцветным снаружи, причем темнее в красной части, чем

снаружи, как это обыкновенно бывает в кругах. Ибо из лучей, проходящих непосредственно вблизи снега, лучи, создающие красный цвет, будут наименее преломляться и, таким образом, будут приходить к глазу по кратчайшим линиям.

Свет, проходящий через дождевую каплю после двух преломлений и трех или более отражений, едва ли настолько силен, чтобы вызвать заметную радугу; но в тех ледяных цилиндрах, которыми *Гюйгенс* объясняет *Паргелии*[72], этот свет может быть и ощутим.

ПРЕДЛОЖЕНИЕ X. Задача V.

Объяснить посредством обнаруженных свойств света постоянные цвета естественных тел.

Эти цвета происходят оттого, что некоторые естественные тела отражают одни сорта лучей, другие тела — иные сорта обильнее, чем остальные. Сурик отражает наиболее обильно наименее преломляемые лучи, создающие красный цвет, и поэтому кажется красным. Фиалки отражают обильнее всего наиболее преломляемые лучи, благодаря чему имеют этот цвет; так же и другие тела. Всякое тело отражает лучи своего собственного цвета более обильно, чем остальные, и благодаря избытку и главенству их в отраженном свете обладает своей окраской.

Опыт 17. Если в однородные цвета, полученные при решении задачи, поставленной в четвертом предложении первой части, вы поместите тела различной окраски, вы найдете, как я это делал, что всякое тело является наиболее ярким и светящимся в свете его собственной окраски. Киноварь в однородном красном свете наиболее ярка, в зеленом заметно менее ярка, а в синем еще меньше. Индиго в фиолетово-синем свете наиболее ярок, но блеск его постепенно убывает по мере постепенного передвижения через зеленый и желтый свет к красному. Порей значительно сильнее отражает зеленый и затем синий и желтый, составляющие зеленый, чем другие цвета: красный, фиолетовый и прочие. Но, для того чтобы сделать эти опыты наиболее очевидными, нужно выбирать

такие тела, которые имеют наиболее полную и живую окраску, и сравнивать два таких тела друг с другом. Таким образом, если, например, держать вместе в красном однородном свете киноварь и *ультра*-марин синий или какой-либо другой полный синий, то оба они будут казаться красными, но киноварь будет сильно светящейся и ярко красной, *ультра*-марин же будет слабым, мрачным и темнокрасным; если их держать вместе в однородном синем свете, то оба они кажутся синими, но *ультра*-марин будет казаться сильно светящимся и ярко синим, киноварь же станет слабой и темносиней. Отсюда становится бесспорным, что киноварь отражает красный свет много обильнее, чем *ультра*-марин, последний же отражает синий цвет много больше, чем киноварь. Тот же опыт можно с успехом проделать с красным свинцом и индиго или с какими-либо другими двумя окрашенными телами, если только сделан надлежащий выбор в отношении силы или слабости их окраски и света.

Насколько причина цветов естественных тел очевидна из этих опытов, настолько же она подтверждается далее и становится бесспорной на основании двух первых опытов первой части, в которых было доказано по отношению к естественным телам, что отраженный свет, отличающийся по цвету, отличается и по степени преломляемости. Отсюда становится ясным, что некоторые тела отражают более преломляемые, другие — менее преломляемые лучи обильнее других.

Что эта причина — не только истинная причина цветов, но и единственная, явствует, далее, из того соображения, что цвет однородного света нельзя изменить отражением от естественных тел.

Ибо, если тела не могут производить при отражении ни малейшего изменения цвета какого-либо сорта лучей, они не могут являться окрашенными по иным причинам, кроме отражения лучей их собственного цвета или же лучей, производящих этот цвет смешением.

При производстве опытов такого рода нужно, однако, озаботиться, чтобы свет был достаточно однородным. Ибо если тела освещать обычными призматическими цветами,

то они не будут казаться ни своей собственной окраски на данном свету, ни окраски света, падающего на них, но будут иметь цвет средний между обеими, как я нашел это на опыте. Так (например), красный свинец, освещаемый обычным призматическим зеленым, не будет казаться ни красным ни зеленым, но оранжевым или желтым, или между оранжевым и желтым, соответственно большей или меньшей сложности зеленого света, которым он освещается. Ибо по той же причине, почему красный свинец кажется красным при освещении белым светом, в котором одинаково перемешаны все сорта лучей, падающий зеленый свет, где не все сорта лучей перемешаны одинаково, с избытком лучей, создающих желтый, зеленый и синий, вызовет такое изобилие этих лучей в отраженном свете, что они изменят окраску из красной в сторону своих цветов. Красный свинец отражает наиболее обильно лучи, создающие красный, в отношении к их числу, и затем лучи, создающие оранжевый и желтый; эти лучи поэтому будут в отраженном свете в большей пропорции, чем в падающем зеленом свете, и следовательно, изменят отраженный свет из зеленого в сторону собственных цветов. Поэтому красный свинец не будет казаться ни красным ни зеленым, но окраски средней между ними обоими.

В прозрачных окрашенных жидкостях можно заметить, что цвет их обычно меняется с толщиной. Так, например, если держать красную жидкость в коническом стакане между светом и глазом, она кажется бледной и разведенно-желтой на конце, где слой тонкий; немного выше, где слой становится толще, жидкость делается оранжевой; в еще более толстом слое — красной, и там, где слой толще всего, красный цвет наиболее глубок и темен. Ибо следует полагать, что темная жидкость задерживает легче всего лучи, создающие индиго и фиолетовый, с бо́льшим трудом — лучи, создающие синий, еще с бо́льшим затруднением — лучи, создающие зеленый, и с наибольшим затруднением — лучи, создающие красный; если толщина жидкости достаточна только для остановки значительного числа лучей, создающих фиолетовый и

индиго, и не на много уменьшает число остальных лучей, то остальные лучи (*предложение 6 части I*) должны составить бледножелтый. Но если толщина жидкости такова, что она может задержать такое большое число лучей, создающих синий цвет, и некоторые из лучей, создающих зеленый, то остальные лучи должны составить оранжевый; там же, где жидкость настолько толста, что может задержать большое число лучей, создающих зеленый цвет, и значительное число лучей, создающих желтый, остальные лучи начнут составлять красный; этот красный будет становиться все глубже и темнее по мере все большей и большей задержки лучей, создающих желтый и оранжевый, при возрастании толщины жидкости, так как немногие лучи, кроме создающих красный цвет, могут пройти через жидкость.

К этому же роду относится опыт, недавно сообщенный мне мр. *Галлеем*, который, погрузившись глубоко в море в водолазном колоколе, обнаружил в ясный солнечный день при погружении на несколько саженей [73] в воду, что верхняя часть его руки, на которую прямо светило солнце через воду и через небольшое стеклянное окно в колоколе, казалась красного цвета, подобного дамасской розе; вода же внизу и нижняя часть руки, освещавшаяся светом, отраженным от воды снизу, казалась зеленой. Отсюда можно заключить, что морская вода отражает назад легче всего лучи, создающие фиолетовый и синий, и свободнее и обильнее всего пропускает лучи, создающие красный, на большую глубину. Благодаря этому прямой свет солнца на всех больших глубинах, по причине преобладания лучей, создающих красный, должен казаться красным; и чем больше глубина, тем полнее и интенсивнее должен быть красный цвет. На таких глубинах, куда едва проникают лучи, создающие фиолетовый, лучи, создающие синий, зеленый и желтый, отражаясь снизу обильнее лучей, создающих красный, должны составить зеленый.

Если имеются две жидкости полной окраски, положим красная и синяя, обе в такой толще, которая достаточна для того, чтобы сделать их цвета полными, то каждая

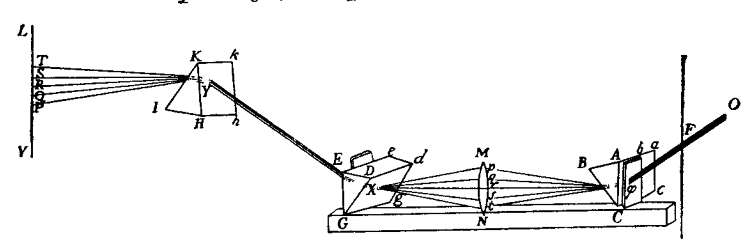
жидкость будет довольно прозрачной в отдельности, но вы не в состоянии что-либо видеть через обе вместе. Ибо если через одну жидкость проходят только лучи, создающие красный, и через другую только лучи, создающие синий, то никакие лучи не могут пройти через обе жидкости вместе. Это случайно нашел мр. *Гук* в стеклянных клиньях, наполненных красной и синей жидкостями, и был поражен неожиданным явлением, причина которого тогда не была известна; поэтому я тем более доверяю его опыту, хотя сам его и не проверил[74]. Но тот, кто будет его повторять, должен озаботиться, чтобы жидкости были очень хороших и полных цветов.

Так как тела становятся окрашенными благодаря более обильному отражению или пропусканию тех или иных сортов лучей, в отличие от остальных, то следует полагать, что они задерживают и тушат[75] в себе лучи, которые они не отражают и не пропускают. Ибо, если расплющить золото и держать его между глазом и светом, то свет кажется зеленовато-синим, и следовательно, в массивном золоте лучи, создающие синий, могут внутри его тела отражаться вперед и назад до тех пор, пока они не задержатся и не погасятся; лучи же, создающие желтый цвет, золото отражает наружу и поэтому кажется желтым. По той же причине, почему листок золота — желтый в отраженном и синий в проходящем свете, массивное же золото — желтое при всех положениях глаза, некоторые жидкости, как настойка *Lignum Nephriticum*[58], и некоторые сорта стекла один сорт света обильнее пропускают, а другой сорт обильнее отражают и кажутся поэтому различных цветов, соответственно положению глаза относительно света. Но если бы эти жидкости или стекла были столь толстыми и массивными, что свет не мог проходить сквозь них, то я не сомневаюсь, что подобно всем другим темным телам они казались бы одного и того же цвета при всех положениях глаза, хотя я и не могу подтвердить этого опытом. Ибо через все окрашенные тела, насколько простираются мои наблюдения, можно видеть насквозь, если они достаточно тонки, и поэтому они в некоторой мере прозрачны, отличаясь

только по степени прозрачности от окрашенных прозрачных жидкостей; эти жидкости, так же, как и указанные тела, становятся темными при достаточной толщине. Прозрачное тело, имеющее некоторую окраску в проходящем свете, может иметь тот же цвет и в отраженном свете, если свет такой окраски отражается от задней поверхности тела или от воздуха за ней. Отраженный свет уменьшится и может исчезнуть, если тело будет очень толстым и с задней стороны покрыто смолою для уменьшения отражения от задней поверхности, так что свет, отраженный от окрашивающих частиц, может преобладать. В таких случаях окраска отраженного света может быть отличной от проходящего света. Почему окрашенные тела и жидкости отражают некоторые сорта лучей, другие же сорта впускают или пропускают, будет сказано в следующей книге. В этом предложении я ограничиваюсь бесспорным установлением того, что тела обладают такими свойствами и поэтому кажутся цветными.

ПРЕДЛОЖЕНИЕ XI. Задача VI.

Составить при помощи смешения цветов пучок света той же окраски и природы, как и пучок прямого солнечного света, и отсюда проверить на опыте справедливость предыдущего предложения.



Фиг. 45.

Пусть $ABCabc$ (фиг. 45) представляет призму, сквозь которую солнечный свет впускается в темную комнату через отверстие F, свет преломляется к линзе MN и

отбрасывает на ней в *p*, *q*, *r*, *s* и *t* обычные цвета: фиолетовый, синий, зеленый, желтый и красный, и пусть расходящиеся лучи вследствие преломления в этой линзе сходятся снова в *X* и здесь, благодаря смешению всех их цветов, составляют белый, как было показано выше. Затем пусть в *X* помещается другая призма *DEGdeg*, параллельная первой, преломляющая белый свет кверху в *Y*. Пусть преломляющие углы призм и их расстояния от линзы равны, так что лучи, сходящиеся от линзы в *X* и без преломления пересекшиеся бы там и снова разошедшиеся, вследствие преломления во второй призме, приводятся к параллелизму и более не расходятся. Тогда эти лучи восстановят пучок белого света *XY*. Если преломляющий угол какой-нибудь призмы толще, то эта призма должна быть соответственно ближе к линзе. Если призмы и линзы хорошо расположены, вы убедитесь в этом из того, что пучок света *XY*, идущий из второй призмы, является совершенно белым до крайних границ и остается на всех расстояниях от призмы совершенным и полным белым подобно пучку солнечного света. Для достижения этого нужно исправлять взаимные положения призм и линзы; затем, если при помощи длинного деревянного бруска, как это изображено на фигуре, или при помощи трубы или какого-либо иного подобного прибора такое положение почти будет достигнуто, то в этом смешанном пучке света *XY* вы можете проделать все те опыты, которые были сделаны с прямым солнечным светом, ибо этот смешанный пучок света имеет тот же вид и наделен всеми теми же свойствами, как и прямой пучок солнечного света, насколько можно судить по моим наблюдениям. Производя опыты с этим пучком, вы можете видеть, задерживая какие-либо из цветов *p*, *q*, *r*, *s* и *t* у линзы, что цвета, получаемые в таких опытах, будут теми же цветами, которые имели лучи, прежде чем они смешались в пучке; следовательно, они не происходят от каких-либо новых модификаций света при преломлениях и отражениях, но от различных разделений и смешений лучей, наделенных изначально их окрашивающими свойствами.

Так, например, имея линзу шириною в $4^1/_4$ дюйма и две призмы на расстояниях в $6^1/_4$ фута по обе стороны от линзы, я получил такой пучок смешанного света; чтобы исследовать причину цветов, получаемых от призмы, я преломил этот смешанный пучок света *XY* другой призмой *HIKkh* и таким способом отбросил обычные призматические цвета *P*, *Q*, *R*, *S*, *T* на бумагу *LV*, помещенную сзади. Задерживая затем некоторые из цветов *p*, *q*, *r*, *s*, *t* у линзы, я нашел, что тот же цвет будет исчезать и на бумаге. Если, например, у линзы задерживался пурпуровый *p*, то на бумаге исчезал пурпуровый *P*, остальные же цвета оставались неизменными, за исключением, пожалуй, синего, поскольку в нем у линзы может скрываться пурпуровый, выделяемый из него дальнейшими преломлениями. При задерживании зеленого у линзы на бумаге будет исчезать зеленый *R* и так же по отношению к остальным. Это показывает полностью, что так же, как белый пучок *XY* был составлен из многих лучей, окрашенных различным образом у линзы, так же и цвета, появляющиеся из пучка при новых преломлениях, будут теми же, из которых составлена белизна пучка. Преломление в призме *HIKkh* порождает цвета *P*, *Q*, *R*, *S*, *T* на бумаге не вследствие изменения окрашивающих свойств лучей, но благодаря разделению лучей, которые обладают теми же самыми окрашивающими свойствами еще до вхождения в смесь преломленного пучка белого света *XY*. Ибо иначе лучи, имеющие одну окраску у линзы, могли бы стать другого цвета на бумаге, в противоположность тому, что мы нашли [76].

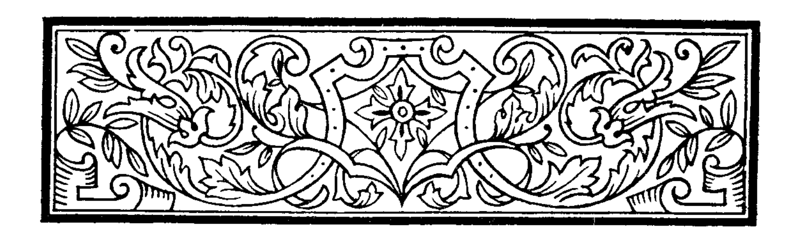
Далее, для исследования причины цветов естественных тел я помещал такие тела в пучок света *XY* и нашел, что все они кажутся там той же собственной окраски, которую они имеют на дневном свету, и что эта окраска зависит от лучей, имевших те же цвета у линзы до того, как они вошли в состав пучка. Так, киноварь, освещаемая этим пучком, кажется того же самого красного цвета, как и на дневном свету, и если у линзы вы задержите лучи, создающие зеленый и синий,

краснота киновари станет полнее и живее. Но если вы задержите лучи, создающие красный, то киноварь не будет более казаться красной и станет желтой, или зеленой, или какой-либо другой окраски, соответственно сортам незадержанных лучей. Так, золото в этом свете XY кажется той же желтой окраски, как и на дневном свету, но если задержать у линзы достаточное количество лучей, создающих желтый, то золото будет казаться белым, подобно серебру (как я это проверил), что показывает, что желтизна золота происходит из избытка задержанных лучей, окрашивающих эту белизну своим цветом, когда они пропускаются. Если держать настойку *Lignum Nephriticum*[58] (что я также проверил) в пучке света XY, то она кажется синей в отраженной части света и красной в проходящей части его, так же, как и при рассматривании на дневном свету; но если вы задержите синий у линзы, настойка потеряет свою синюю окраску при отражении, в то время как проходящий красный остается совершенным и благодаря потере некоторых лучей, создающих синий, которые были к нему примешаны, делается более интенсивным и полным. И, наоборот, если задержать у линзы лучи, создающие красный и оранжевый, настойка потеряет свой проходящий красный, в то время как ее синий цвет останется и будет полнее и совершеннее[58]. Это показывает, что настойка не окрашивает лучей в синий или красный, но только наиболее щедро пропускает лучи, создающие красный, и отражает наиболее щедро лучи, создающие синий. Таким же образом можно исследовать причины других явлений, испытывая их в искусственном пучке света XY.





Книга вторая
ОПТИКИ



ЧАСТЬ I[77].

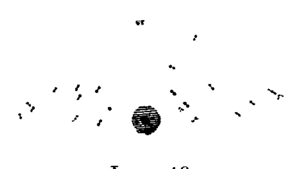
Наблюдения, касающиеся отражений, преломлений и цветов тонких прозрачных тел.



ругие наблюдали, что прозрачные вещества, как стекло, вода, воздух и пр., если их сделать очень тонкими выдуванием в пузыри или изготовляя иным способом в виде пластинок, обнаруживают различные цвета соответственно их различной тонкости, хотя при бо́льших толщинах они кажутся очень ясными и бесцветными [78]. В предыдущей книге я воздержался говорить об этих цветах, ибо они казались более трудными для рассмотрения и не были необходимыми для установления свойств света, разбиравшихся там. Но ввиду того, что они могут привести к дальнейшим открытиям для дополнения теории света, в частности в связи со строением частиц естественных тел, от которых зависят цвета и прозрачность последних, я поместил здесь сведения и об этих цветах. Для краткости и ясности изложения я прежде всего описал главные из моих наблюдений, затем рассмотрел их и воспользовался ими. Наблюдения таковы.

Наблюдение 1. Прижимая тесно две призмы одну к другой так, что их стороны (которые случайно были несколько выпуклыми) могли в некоторых местах соприкасаться, я нашел, что место соприкосновения становилось совершенно прозрачным, как будто бы там был непрерывный кусок стекла Ибо, когда свет падал на воздух, заключенный между стеклами в других местах, настолько отлого, что полностью отражался, то в местах соприкосновения свет казался полностью проходящим настолько, что при рассматривании сверху эти места были похожими на черные или темные пятна благодаря тому, что отражался только ничтожный или неощутимый свет, в отличие от других мест; если смотреть через эти пятна, то они кажутся как бы дырами в тонком слое воздуха, образовавшемся между двумя прижатыми стеклами. Предметы, находящиеся за стеклами, через это отверстие можно видеть отчетливо, хотя они совершенно не видны через остальные части стекол, где была прослойка воздуха Хотя стекла были несколько выпуклыми, однако прозрачные пятна имели значительную ширину, что происходило, повидимому, главным образом потому, что частицы стекол подавались внутрь благодаря взаимному давлению Ибо при очень сильном сдавливании пятна становились значительно шире, чем раньше

Наблюдение 2 Когда пластинка воздуха при вращении призм около их общей оси становилась столь мало наклонной к падающим лучам, что некоторые из них начинали пропускаться, то на пластинке появлялось много тонких цветных дуг, имевших вначале форму конхоиды, как вы видите из чертежа на сорок шестой фигуре. При дальнейшем движении призм эти дуги увеличивались и загибались все больше и больше вокруг указанных прозрачных пятен, пока, наконец, они не завершались в круги или кольца, окружая пятна и сжимаясь после этого постепенно все больше и больше.



Фиг 46

При первом появлении эти дуги были фиолетового и синего цвета, и между ними находились белые дуги кругов, которые при дальнейшем движении призм становились несколько окрашенными по их внутренним лимбам в красный и желтый цвет, ко внешним же лимбам примыкал синий. Следовательно, порядок этих цветов от центрального темного пятна был в это время такой: белый, синий, фиолетовый, черный, красный, оранжевый, желтый, белый, синий, фиолетовый и т. д. Однако желтый и красный были значительно слабее, чем синий и фиолетовый.

При дальнейшем движении призм вокруг их оси эти цвета сжимались все больше и больше, стягиваясь к белизне с каждой стороны, пока, наконец, они совершенно в ней не исчезали. Тогда в этих частях круги казались черными и белыми, без всякой другой примешанной окраски. Но при дальнейшем движении призм цвета снова появлялись из белизны: фиолетовый и синий — на внутреннем лимбе, красный и желтый — на внешнем лимбе. Теперь порядок цветов от центрального пятна был: белый, желтый, красный, черный, фиолетовый, синий, белый, желтый, красный и т. д., то-есть противоположный прежнему.

Наблюдение 3. Когда кольца или некоторые части их казались только черными и белыми, они были очень отчетливыми и определенными, — чернота казалась столь же интенсивной, как и в центральном пятне. Также и на краях колец: там, где цвета начинали появляться из белизны, они были ясными и отчетливыми, что позволяло их видеть в большом числе. Иногда я насчитывал свыше тридцати последовательностей (считая каждое черное и белое кольцо за одну последовательность) и замечал много других, которые не мог сосчитать благодаря их узости. Но при других положениях призм, при которых кольца являлись многоцветными, я не мог различить свыше восьми или девяти колец, причем крайние из них были очень смутны и размыты.

Для того чтобы видеть в этих двух наблюдениях кольца отчетливыми и без всякой иной окраски, кроме

черной и белой, я нашел необходимым помещать глаз на большое расстояние от них. Ибо, приближая глаз ближе, хотя и при одном и том же наклоне к плоскости колец, я видел, что из белой появлялась синеватая окраска, которая, распространяясь все более и более в черную, делала круги менее отчетливыми и оставляла белую окраску слегка красной и желтой. Я нашел также, что если смотреть сквозь щель или удлиненное отверстие, которое было у́же зрачка моего глаза и помещалось около глаза параллельно призмам, то круги видны много отчетливее и в большем числе, чем в других случаях.

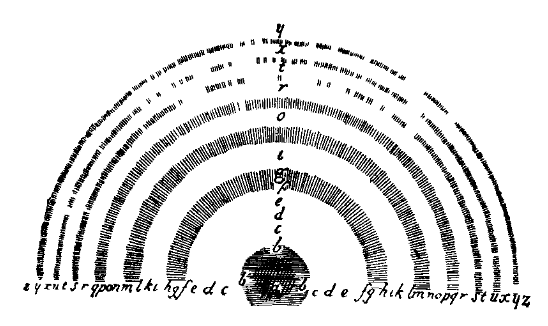
Наблюдение 4. Для более тонкого наблюдения порядка цветов, возникающих из белых кругов по мере того, как лучи делаются все менее и менее наклонными к воздушной пластинке, я взял два объективных стекла: одно плоско-выпуклое для телескопа в четырнадцать футов и другое — широкое двояковыпуклое от телескопа около пятидесяти футов; наложив на последнее стекло первое плоской его стороной вниз, я слегка сжимал их вместе для того, чтобы заставить цвета последовательно возникать в середине кругов, и постепенно поднимал верхнее стекло над нижним для того, чтобы цвета последовательно снова исчезали на том же месте [79]. Окраска, появлявшаяся последней при сжимании стекол в середине других цветов, при первом своем появлении была похожа на круг почти однородного цвета от окружности к центру; при дальнейшем сжимании стекол этот круг становился шире, пока в его центре не появлялся новый цвет и круг не делался кольцом, окружающим этот новый цвет. Дальнейшее сжатие увеличивает диаметр этого кольца, ширина же его орбиты или периметра убывает до тех пор, пока в центре не появится новый цвет. И так же возникает последовательно третий, четвертый, пятый и другие следующие новые цвета и становятся кольцами, окружающими внутренние цвета, из которых последним было черное пятно. И, наоборот, при подымании верхнего стекла над нижним диаметр колец убывает, ширина же их орбит возрастает до тех пор, пока их цвета не дойдут последовательно до центра; при

этом они имеют значительную ширину, и я мог легче различить их вид, чем раньше. Таким способом я наблюдал их последовательность и количество, как о том следует ниже.

За прозрачным центральным пятном, появившимся при соприкосновении стекол, следовали синий, белый, желтый и красный. Синий был в столь малом количестве, что я не мог различить его в кругах, полученных при помощи призм, не мог в них я хорошо разобрать и фиолетовый, однако желтый и красный были очень обильными и, казалось, простирались на столько же, как и белый, и в четыре или пять раз больше синего. Следующие круги в порядке цветов, непосредственно окружавшие предыдущие, были: фиолетовый, синий, зеленый, желтый и красный; все они были обильны и ярки, за исключением зеленого, который находился в малом количестве и казался более слабым и размытым, чем другие цвета. Из остальных четырех фиолетовый распространялся меньше всех и синий меньше, чем желтый или красный. Третья окружность или порядок был таков: пурпуровый, синий, зеленый, желтый и красный, причем пурпуровый был красноватее, чем фиолетовый в предыдущей окружности, и зеленый был значительно отчетливее, являясь столь же живым и обильным, как и другие цвета, за исключением желтого; однако красный стал немного бледнее, очень сильно склоняясь к пурпуровому. После этого следовала четвертая окружность — зеленая и красная. Зеленый был очень обильным и живым, склоняясь с одной стороны к синему и с другой к желтому. Но в этой четвертой окружности не было ни фиолетового, ни синего, ни желтого, красный же был очень несовершенным и грязным. Последующие цвета становятся все более и более несовершенными и размытыми, пока после трех или четырех смен они не переходят в совершенную белизну [80]. Их форма в том случае, когда стекла наиболее сжаты, так что в центре появлялось черное пятно, начерчена на фигуре сорок седьмой, где *a*, *b*, *c*, *d*, *e*; *f*, *g*, *h*, *i*, *k*; *l*, *m*, *n*, *o*, *p*; *q*, *r*; *s*, *t*; *u*, *x*; *y*, *z* обозначают цвета, считаемые в порядке от

центра: черный, синий, белый, желтый, красный; фиолетовый, синий, зеленый, желтый, красный; пурпуровый, синий, зеленый, желтый, красный; зеленый, красный; зеленовато-синий, красный; зеленовато-синий, бледно-красный; зеленовато-синий, красновато-белый.

Наблюдение 5. Для определения промежутка между стеклами, или толщины воздуха, лежащего между ними,



Фиг. 47.

при помощи которого производится каждый цвет, я измерил диаметры первых шести колец в наиболее ярких частях их орбит и нашел, что их квадраты находятся в арифметической прогрессии нечетных чисел: 1, 3, 5, 7, 9, 11. И так как одно из этих стекол было плоским, другое сферическим, то промежутки между ними при этих кольцах должны быть в той же прогрессии. Я измерил также диаметры темных или слабых колец между наиболее блестящими цветами и нашел, что их квадраты располагаются в арифметическую прогрессию четных чисел: 2, 4, 6, 8, 10, 12. Производить эти измерения — дело тонкое и трудное; я повторял их несколько раз в различных частях стекол, чтобы по их согласию убедиться в них. Тот же метод я применял, делая определения и в некоторых других из следующих наблюдений.

Наблюдение 6. Диаметр шестого кольца в наиболее яркой части его орбиты был $\frac{58}{100}$ дюйма, диаметр же

сферы, по которой было отшлифовано двояковыпуклое объективное стекло, был около 102 футов [81]; отсюда я получил толщину воздуха, или воздушного промежутка между стеклами при этом кольце. Спустя некоторое время я обратил внимание на то, что не определил с достаточной точностью диаметр сферы и не был уверен, было ли плоско-выпуклое стекло правильно плоским, или же несколько вогнутым, или выпуклым на той стороне, которую я считал за плоскую; я заподозрил также, не слишком ли сжимал я стекла, заставляя их соприкасаться. (Ибо при таком сжатии стекол вместе части их легко подаются внутрь, и кольца становятся вследствие этого заметно шире, чем они были бы, если бы стекла сохраняли свою фигуру.) Я повторил опыт и нашел диаметр шестого светлого круга около $\frac{55}{100}$ дюйма. Я повторил опыт также с объективным стеклом другого телескопа, которое имел под рукой. Это было двояковыпуклое стекло, отшлифованное по обеим сторонам по одной и той же сфере; фокус его находился от него на расстоянии $83^2/_5$ дюймов. Поэтому если положить синусы падения и преломления яркого желтого цвета находящимися в отношении 11 к 17, то диаметр сферы, по которой образовано стекло, получится расчетом в 182 дюйма. Я налагал это стекло на плоское так, что первое пятно появлялось в середине цветных колец без какого-либо иного давления, кроме веса стекла. Измеряя теперь диаметр пятого темного круга точно, насколько я мог, я нашел его в точности равным пятой части дюйма. Это измерение производилось остриями ножек циркуля на верхней поверхности верхнего стекла, причем мой глаз был на расстоянии восьми или девяти дюймов от стекла, почти перпендикулярно над ним; стекло было $^1/_6$ дюйма толщиною, откуда легко найти, что истинный диаметр кольца между стеклами был больше, чем его измеренный диаметр над стеклом, в отношении 80 к 79 или около этого и равнялся, следовательно, $\frac{16}{79}$ дюйма, его же ис-

тинный полудиаметр равен $\frac{8}{79}$ дюйма. Диаметр сферы (182 дюйма) относится к полудиаметру этого пятого кольца $\left(\frac{8}{79}\text{ дюйма}\right)$ так же, как этот полудиаметр относится к толщине воздуха при пятом кольце; отсюда последняя равна $\frac{32}{567\,931}$, или $\frac{100}{1\,774\,784}$ дюйма; пятая часть, т. е. $\frac{1}{88\,739}$ дюйма, будет толщиной воздуха при первом из темных колец.

Тот же опыт я повторял с другим двояковыпуклым стеклом, отшлифованным с обеих сторон по одной и той же сфере. Его фокус находился от него на расстоянии $168^1/_2$ дюймов, и следовательно, диаметр сферы был 184 дюйма. Это стекло помещалось на то же самое плоское стекло; диаметр пятого из темных колец в том случае, когда черное пятно в центре ясно появлялось без нажатия на стекла, при измерении циркулем на верхнем стекле был $\frac{121}{600}$ дюйма, следовательно, между стеклами он был $\frac{1222}{6000}$, ибо верхнее стекло было толщиною $^1/_8$ дюйма и мой глаз находился от него на расстоянии 8 дюймов. Третье пропорциональное между половиной диаметра этого кольца и диаметром сферы будет $\frac{5}{88\,850}$ дюйма. Такова, следовательно, толщина воздуха при этом кольце, пятая же часть, т. е. $\frac{1}{88\,850}$ дюйма, — толщина воздуха при первом из колец, как и выше.

Я проверил то же самое, накладывая объективные стекла на плоские куски разбитого зеркального стекла, и нашел те же меры колец, что заставляет меня полагаться на них до тех пор, пока их можно будет определить более точно при помощи стекол, отшлифованных по бо́льшим сферам, хотя в таких стеклах

нужна бóльшая осторожность в отношении правильной плоскости.

Эти размеры были получены в том случае, когда мой глаз помещался почти перпендикулярно над стеклом, находясь на дюйм или дюйм с четвертью от падающих лучей и восемь дюймов от стекла, так что лучи были наклонены к стеклу под углом около четырех градусов. Отсюда при помощи следующего наблюдения вы поймете, что если бы лучи были перпендикулярными к стеклам, то толщина воздуха при этих кольцах была бы меньше в отношении радиуса к секансу четырех градусов, т. е. 10 000 к 10 024. Уменьшая найденные толщины в этом отношении, получим $\frac{1}{88\,952}$ и $\frac{1}{89\,063}$, или (применяя ближайшее округленное число) $\frac{1}{89\,000}$ дюйма. Такова толщина воздуха при самой темной части первого темного кольца, полученного при перпендикулярных лучах; половина этой толщины, умноженная на прогрессию: 1, 3, 5, 7, 9, 11 и т. д., дает толщины воздуха в наиболее светлых частях самых ярких колец, т. е. $\frac{1}{178\,000}$, $\frac{3}{178\,000}$, $\frac{5}{178\,000}$, $\frac{7}{178\,000}$ и т. д.; их арифметические средние: $\frac{2}{178\,000}$, $\frac{4}{178\,000}$, $\frac{6}{178\,000}$ и т. д. будут толщинами при наиболее темных частях всех темных колец.

Наблюдение 7. Кольца были наименьшими, когда мой глаз был помещен перпендикулярно над стеклом по оси колец; когда же я смотрел на них наискось, они становились шире, постепенно увеличиваясь по мере того, как я отводил мой глаз дальше от оси. Частью измеряя диаметр того же круга при различных наклонах моего глаза, частью другими способами, пользуясь для очень больших наклонов также двумя призмами, я нашел, что их диаметры, а следовательно, толщины воздуха, при их периметрах при всех этих наклонах,

находятся очень близко в отношениях, выраженных этой таблицей:

Угол падения в воздух		Угол преломления в воздухе		Диаметр кольца [82]	Толщина воздуха [82]
Град.	Мин.				
00	00	00	00	10	10
06	26	10	00	$10\frac{1}{13}$	$10\frac{2}{13}$
12	45	20	00	$10\frac{1}{3}$	$10\frac{2}{3}$
18	49	30	00	$10\frac{3}{4}$	$11\frac{1}{2}$
24	30	40	00	$11\frac{2}{5}$	13
29	37	50	00	$12\frac{1}{2}$	$15\frac{1}{2}$
33	58	60	00	14	20
35	47	65	00	$15\frac{1}{4}$	$23\frac{1}{4}$
37	19	70	00	$16\frac{4}{5}$	$28\frac{1}{4}$
38	33	75	00	$19\frac{1}{4}$	37
39	27	80	00	$22\frac{6}{7}$	$52\frac{1}{4}$
40	00	85	00	29	$84\frac{1}{13}$
40	11	90	00	35	$122\frac{1}{2}$

В первых двух колоннах выражены наклоны падающих и выходящих лучей к воздушной пластинке, т. е. их углы падения и преломления. В третьей колонне диаметр некоторого окрашенного кольца при этих наклонах выражен в частях, десять которых составляют диаметр при перпендикулярных лучах. В четвертой колонне толщина воздуха при окружности этого кольца выражена в частях, десять которых составляют толщину воздуха при этом кольце, когда лучи перпендикулярны [83].

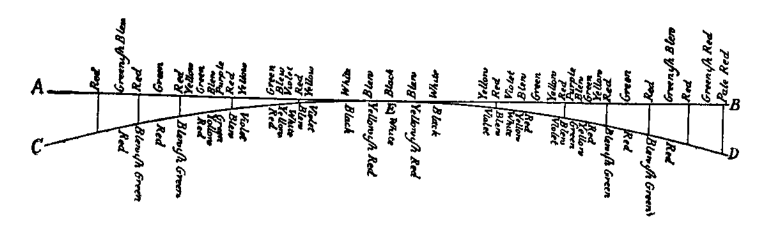
Из этих измерений можно получить такое правило: толщина воздуха пропорциональна секансу угла, синус которого есть некоторое среднее пропорциональное между синусами падения и преломления. Это среднее пропорциональное, поскольку я могу определить на основании таких измерений, будет первым из ста шести средних пропорциональных между указанными синусами, считая от наибольшего синуса, т. е. от синуса преломления, когда преломление происходит при переходе из стекла

в воздушную пластинку, или от синуса падения, когда преломление происходит из воздушной пластинки в стекло [84].

Наблюдение 8. Темное пятно в середине колец также возрастало при наклоне глаза, хотя почти незаметно. Однако, если вместо объективных стекол применять призмы, то возрастание более заметно, если смотреть столь отлого, что вокруг пятна не появляется цветов. Пятно было наименьшим, когда лучи падали наиболее отлого на слой воздуха между призмами; по мере уменьшения наклона пятно увеличивалось все больше и больше, пока не появлялись окрашенные кольца, и затем снова убывало, но не так сильно, как раньше. Отсюда очевидно, что прозрачность была не только при абсолютном соприкосновении стекол, но также и там, где они разделялись малым промежутком. Иногда я наблюдал, что диаметр пятна был между половиной и двумя пятыми диаметра внешней окружности красного в первом круге, или смене цветов, если смотреть почти перпендикулярно; между тем, если смотреть наискось, пятно совершенно исчезало и становилось непрозрачным и белым, подобно остальным частям стекла; отсюда можно заключить, что стекла в этом случае едва или совсем не касались одно другого и что промежуток при периметре пятна, когда наблюдение производилось перпендикулярно, был около пятой или шестой части промежутка при окружности указанного красного цвета.

Наблюдение 9. Смотря через два соприкасающихся объективных стекла, я нашел, что промежуточный воздух обнаруживает цветные кольца столь же хорошо и в проходящем свете, как в отраженном. Центральное пятно было теперь белым, и от него порядок цветов был такой: желтовато-красный; черный, фиолетовый, синий, белый, желтый, красный; фиолетовый, синий, зеленый, желтый, красный и т. д. Но эти цвета были очень слабыми и размытыми, если только свет не пропускался через стекла очень отлого, ибо таким способом они становились очень живыми. Только первый желтовато-красный, подобно синему в четвертом наблюдении, был

столь незначительным и слабым, что едва различался. Сравнивая окрашенные кольца, получаемые при отражении, с кольцами при пропускании света, я нашел, что белый был противоположным черному, красный — синему, желтый — фиолетовому и зеленый — смеси красного и фиолетового, то-есть те части стекла были черными при рассматривании насквозь, которые казались белыми при наблюдении сверху, и обратно; там, где в одном случае появлялся синий цвет, в другом был красный; и



Фиг. 48.

точно так же в отношении других цветов[85]. Это обстоятельство вы видите изображенным на сорок восьмой фигуре, где AB, CD — поверхности стекол, соприкасающихся в E, черные же линии между ними суть их расстояния в арифметической прогрессии; цвета, написанные наверху, видны в отраженном свете, написанные внизу — в свете проходящем.

Наблюдение 10. При небольшом смачивании объективных стекол по их ребрам вода медленно проникала между ними, и при этом круги становились меньше, а цвета более слабыми: по мере того как вода проникала в одну половину, в той половине, в которую вода приходила раньше, цвета казались отделившимися от другой половины и сжимались на меньшем пространстве. Измеряя, я нашел отношения их диаметров к диаметрам подобных же кругов, образованных воздухом, около семи к восьми, и следовательно, промежутки между стеклами при соответственных кругах, вызванных двумя средами — водой и воздухом, относятся приблизительно

как три к четырем. Может быть, таково общее правило, что в том случае, когда между стеклами зажата иная среда, более или менее плотная, как вода, то промежутки при кольцах, появляющихся при этом, будут относиться к промежуткам в случае воздушного слоя, как синусы, измеряющие преломление, происходящее при переходе из этой среды в воздух.

Наблюдение 11. Когда вода находилась между стеклами и я различным образом нажимал верхнее стекло по краям, заставляя кольца быстро двигаться из одного места в другое, то за центром колец непосредственно следовало маленькое белое пятно, которое, однако, сразу исчезало, когда окружающая вода проникала в это место. Вид его был таков же, как и в том случае, если бы там находился воздух, и он обнаруживал те же цвета. Но это был не воздух, ибо там, где в воде находились воздушные пузырьки, они не исчезали. Скорее, отражение вызывалось более тонкой средой, которая могла выходить через стекла при проникании воды.

Наблюдение 12. Эти наблюдения производились на открытом воздухе. Далее, однако, для исследования действий окрашенного света, падающего на стекла, я затемнил комнату, рассматривая стекла при помощи отражения цветов призмы, отбрасываемых на лист белой бумаги, причем мой глаз помещался так, что я мог видеть окрашенную бумагу при помощи отражения в стеклах, как в зеркале. Благодаря этому кольца стали отчетливы и наблюдались в значительно большем числе, чем на открытом воздухе. Иногда я видел их более двадцати, в то время как на открытом воздухе не мог различить свыше восьми или девяти.

Наблюдение 13. Я поручил ассистенту двигать призму вверх и вниз вокруг ее оси так, чтобы все цвета могли последовательно падать на ту часть бумаги, которую я видел при помощи отражения от той части стекол, где появлялись кольца; поэтому все цвета могли последовательно отражаться в мой глаз, который я держал неподвижно. Я нашел, что круги, производимые красным светом, были заметно шире, чем круги от синего и

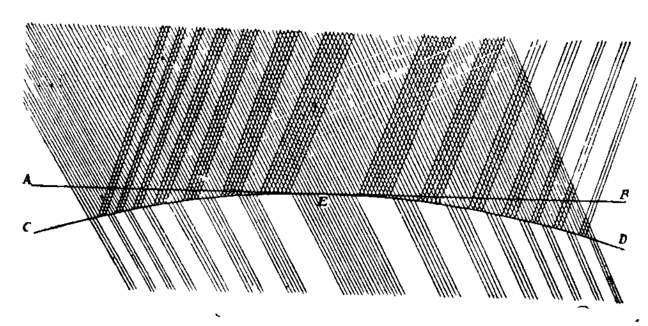
фиолетового. Было очень приятно наблюдать, как они расширялись или сжимались соответственно изменению окраски света. Промежуток между стеклами при любом из колец в том случае, если они получились от крайнего красного света, относится к промежутку при том же кольце, полученному от крайнего фиолетового, больше, чем 3 к 2, и меньше, чем 13 к 8. В большей части моих наблюдений это отношение было около 14 к 9. Это отношение при всех наклонах глаза казалось весьма точно одним и тем же, за исключением того случая, когда вместо объективных стекол применялись две призмы. Ибо тогда, при некотором большом наклоне моего глаза, кольца, вызываемые различными цветами, казались равными, при еще большем наклоне кольца, вызываемые фиолетовым, были больше, чем те же кольца, вызываемые красным цветом: преломление в призме в этом случае заставляло наиболее преломляемые лучи падать на воздушную пластинку более отлого, чем лучи наименее преломляемые. Опыт удавался в таком окрашенном свете, который был достаточно силен и обилен для того, чтобы кольца стали заметными [86]. Отсюда можно вывести, что если бы наиболее преломляемые и наименее преломляемые лучи были достаточно обильны для получения заметных колец без смешения с другими лучами, то отношение, которое было здесь 14 к 9, стало бы немного больше, положим, $14^1/_4$ или $14^1/_3$ к 9.

Наблюдение 14. При вращении призмы равномерным движением вокруг ее оси различные цвета последовательно падали на объективные стекла, и кольца поэтому сжимались и расширялись. Сжатие или расширение каждого кольца, производимое, таким образом, изменением его окраски, было быстрее всего в красном и медленнее всего в фиолетовом, в промежуточных цветах были промежуточные степени скорости. Сравнивая количество сжатия и расширения, производимого всеми степенями каждого цвета, я нашел, что оно больше всего в красном, меньше в желтом, еще меньше в синем и менее всего в фиолетовом. С целью насколько возможно правильной оценки отношений этих сжатий и расшире-

ний я измерил, что все сжатие и расширение диаметра любого кольца, производимое всеми степенями красного, относилось к сжатию и расширению диаметра того же кольца, производимому всеми степенями фиолетового, приблизительно как четыре к трем или пять к четырем, и что в том случае, когда свет был средней окраски между желтым и зеленым, диаметр кольца был очень близок к среднему арифметическому между диаметром того же кольца в крайнем красном и наименьшим диаметром кольца в крайнем фиолетовом, в противоположность отношению, имеющемуся в цветах удлиненного спектра, получаемого преломлением в призме, где красный наиболее сжат, фиолетовый наиболее расширен, в середине же всех цветов находится граница зеленого и синего [87]. Отсюда я склонен заключить, что толщи воздуха между стеклами там, где кольца образуются границами пяти главных цветов (красного, желтого, зеленого, синего, фиолетового) по порядку (то-есть крайним красным, границей красного и желтого в середине оранжевого, границей желтого и зеленого, границей зеленого и синего, границей синего и фиолетового в середине индиго и крайним фиолетовым), относятся друг к другу почти так же, как шесть длин струны, звучащих нотами большой сексты: *соль*, *ля*, *ми*, *фа*, *соль*, *ля*. Но в несколько лучшем согласии с наблюдениями можно сказать, что там, где кольца последовательно образуются границами семи цветов — красного, оранжевого, желтого, зеленого, синего, индиго и фиолетового по порядку, толщины воздуха между стеклами относятся друг к другу, как кубичные корни из квадратов восьми длин струны, соответствующих нотам октавы: *соль*, *ля*, *фа*, *соль*, *ля*, *ми*, *фа*, *соль*, т. е. как кубичные корни квадратов чисел: 1, $^8/_9$, $^5/_6$, $^3/_4$, $^2/_3$, $^3/_5$, $^9/_{16}$, $^1/_2$ [88].

Наблюдение 15. Эти кольца не имели различной окраски, как на открытом воздухе; все они являлись только в том призматическом цвете, которым были освещены. Отбрасывая призматические цвета непосредственно на стекла, я нашел, что свет, падающий на темные пространства между окрашенными кольцами, проходил

через стекла без всякого изменения цвета. Ибо на белой бумаге, помещаемой сзади, вырисовывались кольца того же цвета, как и в отраженных кольцах, и с такою же толщиной промежуточных пространств. Отсюда ясно происхождение этих колец, именно: воздух между стеклами соответственно своей различной толщине в некоторых местах предрасположен к отражению, в других к пропусканию света какой-либо окраски (как вы можете



Фиг. 49.

видеть изображенным на сорок девятой фигуре [89]), причем в том же месте отражается свет одной окраски и пропускается свет другой окраски.

Наблюдение 16. Квадраты диаметров этих колец, полученных с призматическими цветами, находились в арифметической прогрессии, как и в наблюдении пятом. Диаметр шестого круга в случае лимонно-желтого цвета и при почти перпендикулярном наблюдении был около $^{58}/_{100}$ дюйма или несколько меньше, в согласии с шестым наблюдением. Предыдущие наблюдения были произведены со средою менее плотной, ограниченной более плотной, как воздух или вода, сжатые между двумя стеклами. В следующих наблюдениях излагаются явления в плотных средах, находящихся в тонком слое внутри менее плотной среды, как, например, пластинки слюды [90], водяные пузыри и прочие тонкие тела, граничащие со всех сторон с воздухом.

Наблюдение 17. Общеизвестно наблюдение, что если выдуть пузырь из воды, в которой для вязкости растворено немного мыла, то через некоторое время пузырь кажется окрашенным в крайне разнообразные цвета. Для предохранения этих пузырей от движений, вызываемых внешним воздухом (вследствие чего их цвета неправильно движутся одни среди других, так что нельзя сделать точных наблюдений над ними), как только выдувался пузырь, я накрывал его прозрачным стаканом, и, таким образом, его цвета появлялись в очень правильном порядке, подобно многочисленным концентрическим кольцам, окружавшим вершину пузыря. По мере того как пузырь становился тоньше вследствие непрерывного опускания воды, эти кольца медленно расширялись и покрывали весь пузырь, спускаясь по порядку к его концу, где они последовательно исчезали. В то же время, после того как на вершине появились все цвета, здесь возникало маленькое круглое пятно, подобно тому как и в первом наблюдении, и непрерывно расширялось, достигая иногда свыше $^1/_2$ или $^3/_4$ дюйма, прежде чем пузырь разрывался. Вначале я думал, что вода не отражает света в этом месте, но, наблюдая более внимательно, я увидел внутри темного пятна много маленьких круглых пятен, которые казались более черными и темными, чем остальные, откуда я заключил, что в других местах, которые не были столь темными, как эти пятна, существовало некоторое отражение. При дальнейших попытках я нашел, что можно видеть изображения некоторых предметов (как, например, свечи или солнца) весьма отчетливо отраженными не только от большого черного пятна, но также и от маленьких более темных пятен, которые находились внутри. Кроме указанных выше окрашенных колец, часто появляются маленькие цветные пятна, поднимающиеся или опускающиеся вверх и вниз по бокам пузыря вследствие некоторых неравенств при опускании воды. Иногда маленькие черные пятна, образовавшиеся по сторонам, подымались к большому черному пятну на вершине пузыря и с ним соединялись.

Наблюдение 18. Цвета этих пузырей обширнее и живее, чем в воздухе, сжатом между стеклами, и, таким образом, легче различимы; поэтому я дам вам здесь более подробное описание их чередования для случая, когда они наблюдались при рассматривании в отраженном свете неба, причем последнее было белой окраски, за пузырем же помещался черный предмет. Цвета были такие: красный, синий; красный, синий; красный, синий; красный, зеленый; красный, желтый, зеленый, синий, фиолетовый; красный, желтый, белый, синий, черный.

Три первые чередования красного и синего были очень размытыми и грязными, в особенности первое, где красный казался в некотором роде белым. Другие цвета, кроме красного и белого, были почти незаметны, только синие (и главным образом второй синий) склонялись немного к зеленому.

Четвертый красный был также размытым и грязным, но не в такой мере, как три предыдущие; за ним следовали слабый или почти незаметный желтый и обильный зеленый, вначале склонный немного к желтому, а затем становившийся блестящим зеленым, цвета ивы; после этого он изменялся в синеватый цвет, за которым, однако, не следовали ни синий ни фиолетовый.

Пятый красный вначале склонялся очень сильно к пурпуровому, после чего становился более ярким и блестящим, однако все же не очень чистым. За ним следовал очень яркий интенсивный желтый, который был, однако, в небольшом количестве и скоро изменялся в зеленый. Но этот зеленый был обильным и несколько чище, глубже и живее, чем предыдущий зеленый. За ним следовал превосходный синий, цвета яркого неба, затем пурпуровый, который был в меньшем количестве, чем синий, и более склонным к красному.

Шестой красный вначале был очень красивым и живым багряным и вскоре затем становился более яркого цвета, очень чистого и блестящего, лучшего из всех красных. Затем после живого оранжевого следовал интенсивный, яркий и обильный желтый, который также был самым лучшим из всех желтых; он изменялся сна-

чала в зеленовато-желтый, а затем в зеленовато-синий; зеленый же между желтым и синим был очень слабым и размытым, похожим скорее на зеленовато-белый, чем на зеленый. Последующий синий был очень хорошим, весьма красивой небесной окраски, но несколько хуже предыдущего синего; фиолетовый был интенсивным и глубоким с небольшой краснотой или без нее. Он был в меньшем количестве, чем синий.

В последнем красном появлялась багряная окраска, близкая к фиолетовой, она скоро изменялась в более яркий цвет, склонный к оранжевому; следовавший затем желтый был сначала очень хорошим и живым, но затем становился все более размытым, пока постепенно не заканчивался совершенной белизной. Если вода была очень вязкой и хорошо перемешанной, то эта белизна медленно переходила и распространялась на бóльшую часть пузыря, непрерывно бледнея к вершине, где, наконец, она разрывалась на несколько кусков; по мере того как эти трещины расширялись, они являлись в очень хорошей, однако темной и мрачной небесной окраске; белый цвет между синими пятнами уменьшался и походил в конце на нити неправильной сетки, вскоре после этого он исчезал, оставляя верхнюю часть пузыря в указанной темносиней окраске. Эта окраска указанным раньше способом расширялась вниз, простираясь иногда на весь пузырь. В это время на вершине, которая была более темного синего цвета, чем низ, и казалась также заполненной многими круглыми синими пятнами, иногда более темными, чем остальное, возникали один или много очень черных пятен, внутри которых появлялись другие пятна более интенсивной черноты; о них я говорил в предыдущем наблюдении; эти пятна непрерывно расширялись, пока пузырь не лопался.

Если вода была не очень вязкой, то черные пятна прорывались в белом без всякого заметного вмешательства синего. Иногда они прорывались в предшествующем желтом или красном или, может быть, внутри синего второго порядка, прежде чем промежуточные цвета успевали обнаруживаться.

Из этого описания вы можете заметить, как велико родство этих цветов с цветами воздуха, описанными в четвертом наблюдении, хотя они и излагаются в обратном порядке вследствие того, что они начинают появляться, когда пузырь толще всего, и рассматриваются удобнее всего от самых нижних и толстых частей пузыря кверху.

Наблюдение 19. Рассматривая цветные кольца, появляющиеся на вершине пузыря, при различных отлогих положениях моего глаза, я нашел, что кольца заметно расширялись при увеличении наклона, но не так сильно, как в случае тонкого слоя воздуха в седьмом наблюдении. Ибо там они расширялись настолько, что при наиболее отлогом наблюдении приходили в часть пластинки, где толщина превосходила более чем в двенадцать раз толщину той части, при которой они находились в случае перпендикулярного наблюдения; здесь же толщина воды, до которой кольца достигали при наиболее отлогом наблюдении, относилась к толщине при перпендикулярных лучах иногда меньше чем 8 к 5. По моим лучшим наблюдениям, это отношение было 15 и $15^1/_2$ к 10: увеличение приблизительно в 24 раза меньше, чем в случае воздуха.

Иногда пузырь делался одинаковой толщины повсюду за исключением его вершины около черного пятна, о чем я судил по тому, что он казался одинаковой окраски при всех положениях глаза. Тогда цвета, которые были видимыми на его кажущейся окружности при помощи наиболее отлогих лучей, были отличны от цветов, видимых в других местах посредством лучей менее отлогих. Различные зрители могут видеть ту же часть пузыря в различных цветах, рассматривая ее при сильно отличающихся наклонах. Наблюдая, как изменяются цвета одного и того же места пузыря или различных мест равной толщины при разных наклонах лучей, на основании 4-го, 14-го, 16-го и 18-го наблюдений, как будет объяснено далее, я заключил, что толщи воды, требуемые для появления одного и того же цвета при различных наклонах, нахо-

дятся в отношениях, весьма близких к приведенным в этой таблице:

Падение в воду		Преломление в воде		Толщина воды
Град.	Мин.	Град.	Мин.	
00	00	00	00	10
15	00	11	11	10¼
30	00	22	1	10⅘
45	00	32	2	11⅘
60	00	40	30	13
75	00	46	25	14½
90	00	48	35	15⅕

В первых двух столбцах приведены наклоны лучей к поверхности воды, т. е. углы падения и преломления. Здесь я предполагаю, что синусы, измеряющие углы, находятся в круглых числах в отношении, как 3 к 4, хотя, вероятно, растворение мыла в воде может слегка изменить ее преломляющую способность. В третьем столбце толщины пузыря, при которых проявляется какой-либо цвет при этих различных наклонах, выражены в долях, десять которых составляют толщину в том случае, когда лучи падают перпендикулярно[91]. Правило, найденное из седьмого наблюдения, хорошо согласуется с этими измерениями, если это правило применять должным образом; именно, толщина водяной пластинки, требуемая для появления одного и того же цвета при разных наклонах глаза, пропорциональна секансу угла, синус которого является первым из ста шести арифметических средних между синусами падения и преломления, считая от меньшего синуса, т. е. от синуса преломления, когда преломление происходит из воздуха в воду; в противоположном случае — от синуса падения[84].

Иногда я наблюдал, что цвета, возникающие на полированной стали при ее нагревании или на колокольном металле и некоторых других металлических субстан-

циях при плавлении и выливании на землю, где они могли охлаждаться на открытом воздухе, были подобны цветам водяных пузырей; они слегка менялись при рассматривании их под разными наклонами, в частности глубоко синий или фиолетовый изменялись при очень отлогом наблюдении в глубокий красный. Но изменения этих цветов не так велики и заметны, как в случае воды. Ибо окалина, или остеклившаяся часть металла, которую большинство металлов непрерывно выталкивает и выделяет на поверхность, причем металл покрывается ею в форме тонкой стекловидной пленки, производящей цвета, много плотнее воды; я нашел, что изменения, производимые наклоном глаза, меньше всего в цветах наиболее плотных тонких веществ.

Наблюдение 20. Так же, как и в девятом наблюдении, и здесь пузырь в проходящем свете являлся в цветах, противоположных тем, которые обнаруживались при отражении. Так, если пузырь рассматривался в свете облаков, отраженном от него, он казался красным на его видимой окружности, если же в это время или непосредственно после этого облака наблюдались через пузырь, то цвет на его окружности был синим. И, наоборот, если в отраженном свете он казался синим, то он являлся красным в проходящем свете.

Наблюдение 21. При смачивании очень тонких пластинок слюды, благодаря тонкости которых появляются подобные же цвета, окраска становится более слабой и вялой, в особенности если пластинки смачивать со стороны, противоположной глазу; но я не мог заметить какого-либо изменения их вида. Таким образом толщина пластинки, потребная для получения какого-либо цвета, зависит только от плотности пластинки, а не от окружающей среды. Поэтому на основании 10-го и 16-го наблюдений можно узнать толщину, которую имеют водяные пузыри, или пластинки слюды, или другие вещества при какой-либо окраске, производимой ими.

Наблюдение 22. Тонкое прозрачное тело, которое плотнее, чем окружающая его среда, проявляет более блестящие и живые цвета, чем тело менее плотное, как

я в частности наблюдал в воздухе и стекле. Ибо при очень тонком выдувании стекла на паяльной лампе[92] пластинки, окруженные воздухом, проявляли цвета значительно более живые, чем в тонком слое воздуха между двумя стеклами.

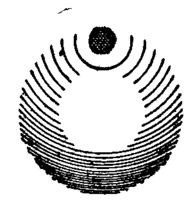
Наблюдение 23. Сравнивая количество света, отраженного от различных колец, я нашел, что обильнее всего оно было от первого, или самого внутреннего, кольца, во внешних же кольцах оно становилось все меньше и меньше. Также и белизна первого кольца была сильнее, чем белизна, отраженная от тех частей тонкой среды или пластинки, которые находились вне колец. Я мог ясно заметить это, наблюдая на расстоянии кóльца, производимые при помощи двух объективных стекол, или сравнивая два водяных пузыря, выдутых в различное время один за другим, причем в одном пузыре появлялась белизна, следовавшая за всеми цветами, а в другом — предшествовавшая им.

Наблюдение 24. Когда два объективных стекла б и наложены одно на другое так, что появлялись кольца цветов, то простым глазом я не мог различить свыше восьми или девяти колец, однако, рассматривая их черзе призму, я видел значительно большее количество и мог насчитать свыше сорока, кроме многих других, которые были столь тонки и близки один к другому, что я не имел возможности держать мой глаз постоянно направленным на них так, чтобы их пересчитать; по их распространению я иногда оценивал число их больше сотни. Я полагаю, что опыт может быть усовершенствован и позволит обнаружить еще бóльшие числа. Ибо число колец, повидимому, действительно неограниченно, хотя заметны лишь те кольца, которые могут быть разделены преломлением призмы, как я объясню в дальнейшем.

Однако отчетливой при таком преломлении делалась только одна сторона этих колец, именно та, к которой производилось преломление, другая же сторона становилась еще более смутной, чем при наблюдении простым глазом, так что я не мог различить там больше

одного или двух колец, а иногда и ни одного, хотя простым глазом я различал восемь или девять. Отрезки, или дуги, казавшиеся столь многочисленными на другой стороне, большею частью не превосходили третьей части круга. Если преломление было очень значительным или призма была весьма удалена от объективных стекол, то средняя часть этих дуг становилась также размытой настолько, что исчезала и слагалась в ровную белизну, в то время как концы по обеим сторонам, а также целые дуги, удаленные от центра, становились отчетливее, чем раньше, являясь в той форме, которую вы видите нарисованной на пятидесятой фигуре.

Там, где дуги казались отчетливее всего, они были последовательно белыми и черными без каких-либо



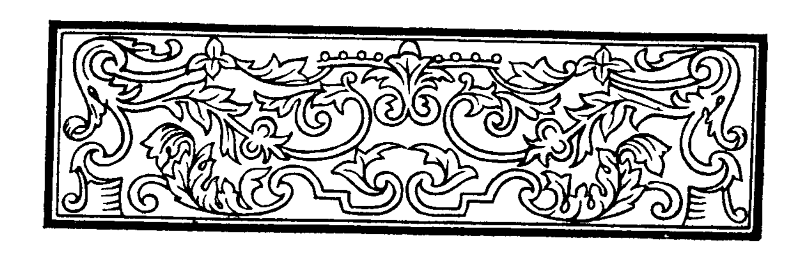
Фиг. 50.

иных примешанных цветов. Но в других местах появлялись цвета, порядок которых обращался вследствие преломления таким образом, что если я держал призму очень близко к объективным стеклам и затем постепенно отодвигал ее дальше к моему глазу, то цвета 2-го, 3-го, 4-го и следующих колец сжимались по направлению к белому, появлявшемуся между ними, и, наконец, полностью в нем исчезали в середине дуг, после чего снова появлялись в обратном порядке. Но на конце дуг они удерживали свой порядок неизменным.

Иногда я так налагал одно объективное стекло на другое, что простому глазу они казались повсюду равномерно белыми, без малейших следов каких-либо окрашенных колец; однако при рассматривании стекол через призму само собой открывалось множество таких колец.

Подобным же образом пластинки слюды и стеклянные пузыри, выдутые на паяльной лампе, которые не были настолько тонкими, чтобы цвета появлялись для простого глаза, при рассматривании через призму обнаруживали большое разнообразие цветов, беспорядочно расположенных внизу и вверху в виде волн. Также и водяные пузыри, прежде чем начать обнаруживать свои цвета простому глазу наблюдателя, стоящего рядом, появлялись сквозь призму, опоясанные многими параллельными и горизонтальными кольцами. Для получения этого эффекта необходимо было держать призму параллельно или почти параллельно горизонту и располагать ее так, чтобы лучи могли быть преломлены кверху [93].





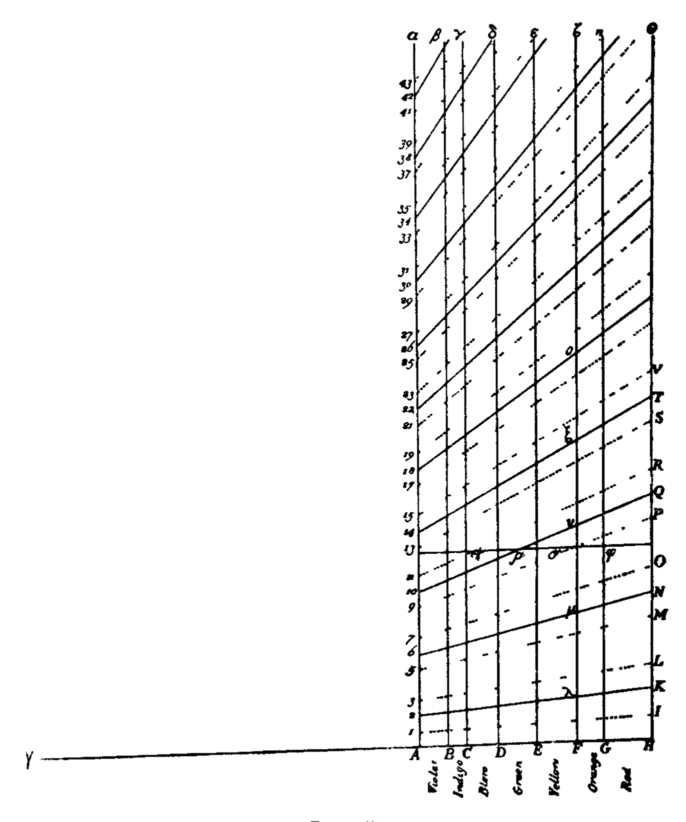
ЧАСТЬ II.

Замечания к предыдущим наблюдениям[94].



осле изложения моих наблюдений над этими цветами, прежде чем воспользоваться ими для объяснения причин цветов естественных тел, удобно будет с помощью наиболее простых из этих наблюдений, каковы 2-е, 3-е, 4-е, 9-е, 12-е, 18-е, 20-е и 24-е, объяснить более сложные. Прежде всего, чтобы показать, как производятся цвета в четвертом и восемнадцатом наблюдениях, отложим на какой-нибудь прямой линии от точки Y (фиг. 51) длины YA, YB, YC, YD, YE, YF, YG, YH, в отношении одна к другой, как кубичные корни квадратов чисел: $^1/_2$, $^9/_{16}$, $^3/_5$, $^2/_3$, $^3/_4$, $^5/_6$, $^8/_9$, 1, соответственно длинам музыкальной струны, звучащей всеми нотами октавы[95], т. е. в отношении чисел: 6300, 6814, 7114, 7631, 8255, 8855, 9243, 10 000. В точках A, B, C, D, E, F, G, H восставим перпендикуляры $A\alpha$, $B\beta$ и т. д., интервалы между которыми должны представлять протяжение различных цветов,

указанных внизу. Затем разделим линию $A\alpha$ в отношении чисел: 1, 2, 3, 5, 6, 7, 9, 10, 11 и т. д., которые обозначены при точках такого деления. Через эти точки деления от Y проведем линии $1I$, $2K$, $3L$, $5M$, $6N$, $7O$ и т. д.



Фиг. 51.

Если предположить теперь, что $A2$ представляет толщину какого-нибудь прозрачного тела там, где наиболее обильно отражается крайний фиолетовый первого кольца или ряда цветов, тогда, по 13-му наблюдению,

HK изобразит толщину, при которой в том же ряду наиболее обильно отражается крайний красный. Точно так же, на основании 5-го и 16-го наблюдений, *A*6 и *HN* будут обозначать толщины, при которых наиболее обильно отражаются те же крайние цвета во втором ряду, *A*10 и *HQ* — толщины, при которых они наиболее обильно отражаются в третьем ряду, и т. д. Толщины, при которых наиболее обильно отражаются какие-либо из промежуточных цветов, определяются согласно 14-му наблюдению расстоянием линии *AH* от промежуточных частей линий 2*K*, 6*N*, 10*Q* и т. д., против которых снизу написаны названия этих цветов.

Далее, для определения ширины этих цветов в каждом кольце или ряду, пусть *A*1 обозначает наименьшую и *A*3 наибольшую толщины, при которых в первом ряду отражается крайний фиолетовый, и пусть *HI* и *HL* означают подобные же границы для крайнего красного, промежуточные же цвета ограничены промежуточными частями линий 1*I* и 3*L*, против которых надписаны названия этих цветов, и так далее. При этом, однако, нужно помнить, что отражения предполагаются наиболее сильными в промежуточных пространствах 2*K*, 6*N*, 10*Q* и т. д. и отсюда постепенно убывают по направлению к границам 1*I*, 3*L*, 5*M*, 7*O* и пр. с каждой стороны, где вы не должны считать их точно ограниченными, но неопределенно убывающими. При этом я приписал одну и ту же ширину каждому ряду; я сделал это потому, что хотя цвета в первом ряду и кажутся немного шире, чем остальные, вследствие большего отражения там, однако это различие столь незаметно, что едва ли может быть определено наблюдением.

Теперь, согласно этому описанию, замечая, что лучи, состоящие первоначально из различных цветов, по очереди отражаются в пространствах 1*IL*3, 5*MO*7, 9*PR*11 и т. д. и пропускаются в пространствах *AHI*1, 3*LM*5, 7*OP*9 и т. д., легко узнать, какой цвет будет появляться на открытом воздухе при какой-нибудь толщине прозрачного тонкого тела. Ибо, если приложить линейку параллельно *AH* на таком расстоянии от этой линии,

которое изображает толщину тела, то чередующиеся пространства $1IL3$, $5MO7$ и пр., которые пересечет линейка, будут означать отраженные первоначальные цвета, из которых слагается цвет, проявляющийся на открытом воздухе. Так, если желательно знать состав зеленого в третьем ряду цветов, то линейка налагается, как вы видите, при $\pi\rho\sigma\varphi$ и проходит через некоторое количество синего при π, желтого при σ, а также и через зеленый при ρ; вы можете заключить отсюда, что зеленый цвет, проявляемый при этой толщине тела, составлен главным образом из первоначального зеленого, но не без примеси некоторого количества синего и желтого.

Таким способом вы можете узнать, как должны следовать цвета по порядку от центра колец наружу, как это было описано в 4-м и 18-м наблюдениях. Ибо если вы двигаете линейку постепенно от AH через все расстояния, проходя через первое пространство, которое обозначает небольшое отражение или отсутствие его в тончайших телах, то сначала у 1 вы придете к фиолетовому, затем очень быстро к синему и зеленому, которые вместе с указанным фиолетовым составляют синий, затем к желтому и красному, при дальнейшем прибавлении которых этот синий превращается в белизну; эта белизна продолжается при переходе ребра линейки от I к 3, после чего, благодаря последовательному убыванию ее составляющих цветов, она обращается сначала в составной желтый и затем в красный, который прекращается совершенно в L. Тогда начинаются цвета второго ряда, которые следуют по порядку при переходе ребра линейки от 5 до O и являются более живыми, чем раньше, так как они более расширены и разделены. По той же причине вместо прежнего белого между синим и желтым появляется смесь оранжевого, желтого, зеленого, синего и индиго, которые все вместе должны давать размытый и несовершенный зеленый. Цвета третьего ряда также следуют по порядку: сначала фиолетовый, который несколько перемешивается с красным второго порядка и поэтому склонен к красноватому пурпуру; затем идут синий и зеленый, которые менее

смешаны с другими цветами и, следовательно, более живые, чем прежде, в особенности зеленый. Затем следует желтый, некоторая часть которого по направлению к зеленому отчетлива и хороша, но часть, направленная в сторону последующего красного, так же, как и этот красный, смешана с фиолетовым и синим четвертого ряда, благодаря чему слагаются различные степени красного, весьма сильно склонные к пурпуру. Фиолетовый и синий, которые должны следовать за этим красным, с ним перемешаны и в нем скрываются; за ними следует зеленый. Он сначала сильно склоняется к синему, но скоро становится хорошим зеленым, единственным несмешанным и живым цветом этого четвертого ряда. Ибо, по мере того как он соприкасается с желтым, он начинает смешиваться с цветами пятого ряда; при этом смешении последующие желтый и красный весьма размыты и грязны, в особенности желтый, который, будучи более слабым цветом, едва способен проявляться. После этого различные ряды налагаются все больше и больше, а цвета их становятся все более смешанными, пока после трех или четырех дальнейших смен (в которых по очереди господствуют красный и синий) все сорта цветов во всех местах одинаково не исчезнут и не сложатся в ровную белизну.

И так как по наблюдению 15-му лучи, наделенные одним цветом, пропускаются там, где лучи другого цвета отражаются, то отсюда очевидна причина цветов, производимых проходящим светом в 9-м и 20-м наблюдениях.

Если желательно знать не только порядок и род этих цветов, но также и точную толщину пластинки или тонкого тела, при которой эти цвета проявляются, в частях дюйма, это может быть получено при помощи сказанного в 6-м и 16-м наблюдениях. Ибо, согласно этим наблюдениям, толщины тонкого воздушного слоя, проявляющие между двумя стеклами наиболее светлые части первых шести колец, были $\frac{1}{178\,000}$, $\frac{3}{178\,000}$, $\frac{5}{178\,000}$, $\frac{7}{178\,000}$, $\frac{9}{178\,000}$, $\frac{11}{178\,000}$ дюйма. Положим,

что свет, наиболее щедро отражающийся при этих толщинах, будет ярким лимонно-желтым или пограничным между желтым и оранжевым и соответствующие толщины будут: $F\lambda$, $F\mu$, $F\nu$, $F\xi$, Fo, $F\zeta$. Если это известно, легко определить, какая толщина воздуха изображается $G\varphi$ или иным каким-нибудь расстоянием линейки от AH.

Но далее, согласно 10-му наблюдению, толщина воздуха относилась к толщине воды, которая между теми же стеклами проявляла те же цвета, как 4 к 3, по 21-му же наблюдению цвета тонких тел не изменяются при изменении окружающей среды; поэтому толщина водяного пузыря, проявляющего какой-либо цвет, будет составлять $^3/_4$ толщины воздуха, производящего тот же цвет. Таким же образом, согласно тем же 10-му и 21-му наблюдениям, толщина стеклянной пластинки, преломление которой для луча средней преломляемости измеряется отношением синусов 31 к 20, будет $^{20}/_{31}$ толщины воздуха, производящего тот же цвет; так же и в других средах. Я не утверждаю, что это отношение 20 к 31 остается тем же во всех других лучах, ибо синусы других сортов лучей имеют иные отношения. Однако различия этих отношений столь малы, что я не обращаю здесь на них внимания. На этих основаниях я составил следующую таблицу, в которой толщи воздуха, воды и стекла, при коих каждый цвет наиболее интенсивен и своеобразен, выражены в миллионных долях дюйма[96].

Если, теперь, сравнить эту таблицу с 51-й схемой, вы увидите там строение каждого цвета в отношении его ингредиентов, или первоначальных цветов, из которых он составлен, и поэтому можете судить об его интенсивности или несовершенстве; этого достаточно для объяснения 4-го и 18-го наблюдений, однако желательно очертить тот же способ, каковым возникают цвета в том случае, когда два объективных стекла накладываются одно на другое. Для этого опишем большую дугу круга и прямую линию, касательную к этой дуге; параллельно этой касательной проведем несколько пунктирных линий на таких расстояниях от касательной, как числа, про-

ставленные против различных цветов в таблице. Дуга и ее касательная изобразят поверхности стекол, определяющих воздушный слой, места же, в которых пунктирные линии пересекают дугу, покажут, на каких расстояниях от центра или точки касания отражается каждый цвет.

Цвета		Толщины окрашенных пластинок и частиц		
		воздуха	воды	стекла
Первого порядка	Очень черный	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{10}{31}$
	Черный	1	$\frac{3}{4}$	$\frac{20}{31}$
	Начало черного	2	$1\frac{1}{2}$	$1\frac{2}{7}$
	Синий	$2\frac{2}{5}$	$1\frac{4}{5}$	$1\frac{11}{20}$
	Белый	$5\frac{1}{4}$	$3\frac{7}{8}$	$3\frac{2}{5}$
	Желтый	$7\frac{1}{9}$	$5\frac{1}{3}$	$4\frac{3}{5}$
	Оранжевый	8	6	$5\frac{1}{6}$
	Красный	9	$6\frac{3}{4}$	$5\frac{4}{5}$
Второго порядка	Фиолетовый	$11\frac{1}{6}$	$8\frac{3}{8}$	$7\frac{1}{5}$
	Индиго	$12\frac{5}{6}$	$9\frac{5}{8}$	$8\frac{2}{11}$
	Синий	14	$10\frac{1}{2}$	9
	Зеленый	$15\frac{1}{8}$	$11\frac{1}{3}$	$9\frac{5}{7}$
	Желтый	$16\frac{2}{7}$	$12\frac{1}{5}$	$10\frac{2}{5}$
	Оранжевый	$17\frac{2}{9}$	13	$11\frac{1}{9}$
	Яркокрасный	$18\frac{1}{5}$	$13\frac{3}{4}$	$11\frac{5}{6}$
	Багряный	$19\frac{2}{3}$	$14\frac{3}{4}$	$12\frac{2}{3}$
Третьего порядка	Пурпуровый	21	$15\frac{3}{4}$	$13\frac{11}{20}$
	Индиго	$22\frac{1}{10}$	$16\frac{4}{7}$	$14\frac{1}{4}$
	Синий	$23\frac{2}{5}$	$17\frac{11}{20}$	$15\frac{1}{10}$
	Зеленый	$25\frac{1}{5}$	$18\frac{9}{10}$	$16\frac{1}{4}$
	Желтый	$27\frac{1}{7}$	$20\frac{1}{3}$	$17\frac{1}{2}$
	Красный	29	$21\frac{3}{4}$	$18\frac{5}{7}$
	Синевато-красный	32	24	$20\frac{2}{3}$

Продолжение

Цвета		Толщины окрашенных пластинок и частиц воздуха	воды	стекла
Четвертого порядка	Синевато-зеленый	24	$25^1/_2$	22
	Зеленый	$35^2/_7$	$26^1/_2$	$22^3/_4$
	Желтовато-зеленый	36	27	$23^2/_9$
	Красный	$40^1/_3$	$30^1/_4$	26
Пятого порядка	Зеленовато-синий	46	$34^1/_2$	$29^2/_3$
	Красный	$52^1/_2$	$39^3/_8$	34
Шестого порядка	Зеленовато-синий	$58^3/_4$	44	38
	Красный	65	$48^3/_4$	42
Седьмого порядка	Зеленовато-синий	71	$53^1/_4$	$45^4/_5$
	Красновато-белый	77	$57^3/_4$	$49^2/_3$

Эту таблицу можно применить также и для других целей; так, при ее помощи была определена толщина пузыря в 19-м наблюдении по цветам, которые он обнаруживал. Точно так же толщина частиц естественных тел может быть предположительно найдена по их цветам, как это будет показано дальше. Если две или большее число тонких пластинок наложены одна на другую, составляя одну пластинку, равную по толщине всем вместе, то цвет, получающийся при этом, также может быть определен при помощи таблицы. Например, мр. *Гук*[97] наблюдал, как об этом упоминается в его *Микрографии*, что слегка желтая пластинка слюды, наложенная на синюю, составляет весьма глубокий пурпуровый цвет. Желтый цвет первого порядка слабый, толщина пластинки, дающей его, согласно таблице, — $4^3/_5$; прибавляя сюда 9 — толщину, проявляющую синий второго порядка,

найдем, что сумма будет $13^3/_5$; эта толщина дает пурпуровый цвет третьего порядка.

Для объяснения, далее, обстоятельств 2-го и 3-го наблюдений, то-есть обращения цветных колец (при повороте призм вокруг их общей оси в обратном направлении, чем в этих наблюдениях) в белые и черные кольца и после этого снова в цветные кольца с чередованием цветов каждого кольца в обратном порядке, нужно вспомнить, что эти цветные кольца расширялись при наклоне лучей к воздуху, находящемуся в промежутке между стеклами, и что, согласно таблице в 7 наблюдении, расширение или возрастание их диаметра наиболее ясно и быстро при наибольшем наклоне. Лучи желтого, более преломляясь первой поверхностью указанного слоя воздуха, чем лучи красного, делаются благодаря этому более наклонными ко второй поверхности, при которой они отражаются, образуя цветные кольца, и следовательно, желтый круг в каждом кольце будет расширяться больше, чем красный; избыток его расширения будет тем больше, чем больше отлогость лучей, пока, наконец, они не станут одинаковой ширины, как и красный цвет того же кольца. На том же основании зеленый, синий и фиолетовый будут также настолько расширяться при возрастающей отлогости их лучей, что станут почти равного размера с красным, то-есть на равном расстоянии от центра колец. В таком случае все цвета того же кольца должны совпасть и при смешении дадут белое кольцо. Эти белые кольца должны иметь между собою черные и темные кольца, потому что они не распространяются и не встречаются друг с другом, как раньше. На этом же основании они должны стать отчетливее и быть видимыми в значительно большем числе. Однако фиолетовый луч, будучи наиболее отлогим, расширится несколько больше в отношении своих размеров, чем другие цвета, и, таким образом, легко может появляться на внешних краях белого.

После этого, при еще большей отлогости лучей, фиолетовый и синий станут более заметно расширенными, чем красный и желтый, и, таким образом, цвета,

удаляясь дальше от центра колец, будут появляться из белого в порядке, обратном тому, который они имели раньше, — фиолетовый и синий будут на внешних лимбах каждого кольца, красный и желтый — на внутренних. Фиолетовый, благодаря наибольшей отлогости его лучей расширяясь больше, чем все другие, скорее всего появляется на внешних лимбах каждого белого кольца и становится заметнее остальных. Различные ряды цветов, относящихся к различным кольцам, при их развертывании и расширении начнут снова налагаться; при этом кольца становятся менее отчетливыми и видимы уже не в таком большом числе.

Если вместо призмы применяются объективные стекла, то кольца, проявляемые ими, не становятся белыми и отчетливыми при наклоне глаза, благодаря тому, что лучи при прохождении их через воздух, который находится между стеклами, остаются почти параллельными тем линиям, по которым они вначале падали на стекла, и, следовательно, лучи, наделенные различными цветами, не наклонены к воздуху один больше чем другой, как это происходит в призмах.

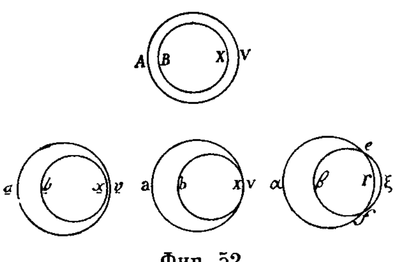
Есть, однако, другое обстоятельство в этих опытах, которое следует разобрать: почему черные и белые кольца при рассматривании на расстоянии кажутся отчетливыми, но вблизи не только становятся неясными, но и проявляют фиолетовую окраску на обоих краях каждого белого кольца. Причина этого в том, что лучи, входящие в глаз в различных частях зрачка, имеют различные наклоны к стеклам; те лучи, которые наиболее отлоги, если бы их рассматривать отдельно, изобразили бы кольца шире, чем лучи наименее отлогие. Благодаря этому ширина периметра каждого белого кольца уширена наружу наиболее отлогими лучами и внутрь наименее отлогими. Это расширение тем больше, чем больше разность наклона, то-есть чем шире зрачок или чем ближе глаз к стеклу. Ширина фиолетового должна увеличиться более всего, потому что лучи, способные возбудить ощущение этого цвета, наиболее наклонны ко второй, или дальней, поверхности тонкого воздушного слоя, от

которой они отражаются; у них отлогость меняется сильнее всего, благодаря чему этот цвет скорее всех появляется на краях белого. По мере того как ширина каждого кольца увеличивается таким образом, темные промежутки должны уменьшаться, соседние кольца станут непрерывно следовать одно за другим и блекнуть, сначала внешнее, а затем и более близкие к центру, так что они не могут более различаться в отдельности и кажутся составляющими одну ровную и равномерную белизну.

Среди всех наблюдений ни одно не сопровождается столь странными обстоятельствами, как двадцать четвертое. Главное из них то, что в тонких пластинках, кажущихся простому глазу ровными и однородной прозрачной белизны без каких-либо ограничений или теней, преломление призмы вызывает появление цветных колец, причем обыкновенно предметы кажутся окрашенными только там, где они граничат с тенью или имеют части, неодинаково освещенные; странно также, что эти кольца кажутся чрезвычайно отчетливыми и белыми, хотя обычно призма делает предметы неясными и окрашенными. Вы поймете причину этих вещей, если примете во внимание, что все цветные кольца в действительности находятся в пластинке при рассматривании простым глазом, хотя благодаря большой ширине их окружностей они настолько налагаются и заслоняют друг друга, что кажутся составляющими равномерную белизну. Но когда лучи проходят к глазу через призму, орбиты некоторых цветов в каждом кольце преломляются несколько больше других, соответственно их степеням преломляемости. Таким способом цвета на одной стороне кольца (то-есть в окружности по одной стороне от ее центра) становятся более развернутыми и расширенными, на другой же стороне свернутся и сожмутся еще больше. Там, где благодаря подходящему преломлению они сожмутся настолько, что некоторые кольца станут у́же, чем нужно для наложения одного кольца на другое, они должны казаться отчетливыми; если же составляющие цвета сожмутся настолько, что совершенно совпадут, то они будут казаться белыми. Но, с другой стороны, там,

где орбита каждого кольца становится шире благодаря дальнейшему развертыванию ее цветов, она должна пересекаться с другими кольцами больше, чем прежде, и станет, таким образом, менее отчетливой.

Чтобы объяснить это несколько подробнее, положим, что концентрические круги *AV* и *BX* (фиг. 52) представляют красный и фиолетовый какого-нибудь порядка, которые вместе с промежуточными цветами составляют



Фиг. 52.

любое такое кольцо. Если смотреть на них через призму, то фиолетовый круг *BX* благодаря большему преломлению будет перенесен дальше от своего места, чем красный *AV*, и, таким образом, приблизится ближе к нему с той стороны кругов, по направлению которой происходят преломления. Например, если красный переносится к *av*, фиолетовый может быть перенесен к *bx*, так что около *x* он приблизится больше, чем прежде; если же красный будет перенесен еще дальше — в av, то фиолетовый может перенестись настолько дальше в bx, что догонит его в x; если красный переносится еще дальше — в αγ, то фиолетовый может передвинуться дальше — в βξ, переходя красный в ξ и догоняя его в *e* и *f*. Предполагая это не только относительно красного и фиолетового, но и относительно всех других промежуточных цветов и также в отношении каждой смены этих цветов, вы легко поймете, каким образом цвета одной и той же смены или порядка при их близости у *xv* и γξ и совпадении при xv или *e* и *f* должны составить вполне отчетливые дуги или круги, в особенности при xv или

при *e* и *f*; при этом они будут казаться раздельными при *xv*, при xv, совпадая, образуют белизну, снова станут раздельными при γξ, однако в порядке, обратном тому, который они имели раньше, удерживая его и за пределами *e* и *f*. Но, с другой стороны, при *ab*, ab или αβ эти цвета должны стать значительно более смутными, расширяясь и распространяясь так, что встречаются с цветами иных порядков. Подобное же слияние произойдет при γξ между *e* и *f*, если преломление очень сильно или призма весьма удалена от объективных стекол. В таком случае не будет видно никаких частей колец, за исключением только двух малых дуг при *e* и *f*, расстояние между которыми будет увеличиваться при дальнейшем удалении призмы от объективных стекол. Эти маленькие дуги должны быть наиболее отчетливыми и белыми в их середине, на концах же, там, где они становятся неясными, они должны быть окрашенными. Цвета на одном конце каждой дуги должны быть в обратном порядке к цветам на другом конце благодаря тому, что они пересекаются в промежуточном белом: именно концы, выходящие по направлению к γξ, будут красными и желтыми со стороны, более близкой к центру, и синими и фиолетовыми с другой стороны. Однако другие концы, направленные от γξ, будут, наоборот, синими и фиолетовыми со стороны, расположенной ближе к центру, с другой же стороны — красными и желтыми [93].

Все эти вещи следуют из свойств света математическим путем рассуждения, их справедливость может быть показана также опытами [98]. Если рассматривать эти кольца через призму при отражении различных призматических цветов, которые ассистент заставляет двигаться туда и сюда на стене или бумаге, от которой они отражаются, глаз же наблюдателя, призма и объективные стекла (так же, как в 13-м наблюдении) находятся в покое, то положение кругов, последовательно получаемых при помощи различных цветов, оказывается одно в отношении другого таким, как я описал при помощи фигур *abvx*, или abvx, или αβξγ. Тем же методом может быть проверена справедливость объяснений и других наблюдений.

Согласно сказанному можно понять подобные же явления в воде и тонких пластинках стекла. Но в маленьких кусочках этих пластинок можно еще заметить, что в том случае, когда они лежат плашмя на столе и их вращают вокруг центра, наблюдая через призму, то при некоторых положениях они проявляют волны различных цветов; некоторые из пластинок проявляют такие волны только в одном или двух положениях, но большинство из них обнаруживает волны при всех положениях и по всей пластинке. Причина этого в том, что поверхности таких пластинок не ровные, но имеют много углублений и вздутостей, изменяющих, несмотря на свою незначительность, толщину пластинки. Ибо по различным сторонам этих углублений, по только что описанным основаниям, должны производиться волны при различных положениях призмы. Хотя эти волны вызываются по большей части весьма малыми и узкими частицами стекла, однако они могут казаться распространяющимися по всему стеклу, так как у самых узких из таких частиц существуют цвета нескольких порядков, то-есть с несколькими кольцами, неясно отражающимися; преломлением в призме они развертываются, разделяются и рассеиваются, соответственно их степеням преломления, по различным местам, составляя, таким образом, столько же различных волн, сколько разных порядков цветов смешанно отражаются от этой частицы стекла.

Таковы главные явления тонких пластинок или пузырей, объяснение которых зависит от свойств света, изложенных мною раньше. Вы видите, что эти явления необходимо следуют из этих свойств и согласуются с ними до мельчайших подробностей, и, помимо этого, они способствуют доказательству этих свойств. Так, из наблюдения 24-го явствует, что лучи различных цветов, получаемые как в тонких пластинках и пузырях, так и преломлениями в призме, имеют различные степени преломляемости, благодаря чему те цвета каждого порядка, которые при отражении от пластинки или пузыря перемешаны с цветами других порядков, разделяются от них преломлением и соединяются вместе, делаясь видимыми

в виде дуг кругов. Ибо если бы все лучи были одинаково преломляемы, стало бы невозможным, чтобы белизна, кажущаяся однородной простому ощущению, переносилась и упорядочивалась в своих частях преломлением в такие черные и белые дуги.

Ясно также, что неодинаковые преломления несходных лучей происходят не от каких-либо случайных неправильностей вроде жил, неровной полировки, случайного положения пор в стекле, неправильных случайных движений в воздухе или эфире, рассеивания, расщепления или разделения одного и того же луча на несколько расходящихся частей или тому подобного. Ибо, при допущении таких неправильностей, преломления не могли бы сделать кольца столь отчетливыми и хорошо определенными, как в 24-м наблюдении. Необходимо поэтому, чтобы каждый луч имел свою собственную и постоянную степень преломляемости, ему прирожденную, соответственно чему его преломление всегда происходит верно и правильно и различные лучи имеют различные степени преломляемости.

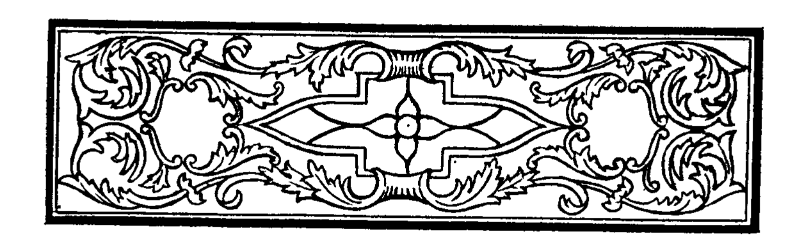
Сказанное относительно преломляемости лучей может быть понимаемо также в отношении их отражаемости, то-есть расположений быть отраженными то на большей, то на меньшей толщине тонких пластинок и пузырей: эти расположения также прирожденны у лучей и неизменяемы, что явствует из 13-го, 14-го и 15-го наблюдений, если их сравнить с четвертым и восемнадцатым.

Из предыдущих наблюдений явствует также, что белизна есть разнородная смесь всех цветов, а соответствующий свет — смесь лучей, наделенных этими цветами. Ибо при рассматривании множества цветных колец в 3-м, 12-м и 24-м наблюдениях становится ясным, что хотя в 4-м и 18-м наблюдениях видно не более восьми или девяти таких колец, однако в действительности имеется значительно большее число колец, которые настолько перекрещиваются и перемешиваются одно с другим, что после восьми или девяти смен они полностью размывают одно другое и составляют ровную и для восприятия однородную белизну. Следовательно, такая

белизна должна признаваться за смесь всех цветов, и свет, подводящий ее к глазу, должен быть смесью лучей, наделенных всеми такими цветами.

Далее, из 24-го наблюдения явствует, что существует постоянное отношение между цветами и преломляемостью: наиболее преломляемые лучи фиолетовые, наименее преломляемые красные, лучи же промежуточных цветов пропорциональны промежуточным степеням преломляемости. Из 13-го, 14-го и 15-го наблюдений при сравнении их с 4-м и 18-м видно, что то же постоянное отношение существует между цветом и отражаемостью: фиолетовый при одинаковых обстоятельствах отражается при наименьших толщинах любой тонкой пластинки или пузыря, красный — при наибольших, промежуточные же цвета — при промежуточных толщинах. Отсюда следует, что цветные расположения лучей также прирожденны и неизменяемы, и следовательно, все явления и виды цветов в мире происходят не от каких-либо физических изменений, вызываемых в свете преломлением или отражением, но только от различных смешений или разделений лучей в силу их различной преломляемости и отражаемости. И в этом отношении наука о цветах становится умозрением столь же точным математическим, как и всякая другая часть оптики[99]. Я имею в виду при этом цвета, поскольку они зависят от природы света, а не производятся или изменяются силой воображения или ударом и нажимом глаза.





ЧАСТЬ III.

О постоянных цветах естественных тел и аналогии между ними и цветами тонких прозрачных пластинок.



перехожу теперь к другой части моего плана — к рассмотрению того, каким образом явления тонких прозрачных пластинок связаны с цветами всех других природных тел. Об этих телах я уже говорил вам, что они являются в различных цветах, соответственно их расположению отражать наиболее обильно лучи, первоначально наделенные такими цветами. Но остается еще открыть строение этих тел, благодаря которому они отражают некоторые лучи более обильно, чем другие, что я и постараюсь уяснить в следующих предложениях [100].

ПРЕДЛОЖЕНИЕ I.

Наибольшее количество света отражают те поверхности прозрачных тел, которые обладают наибольшей преломляющей силой, т. е. те поверхности, кото-

рые находятся между средами, наиболее отличающимися по их преломляющим плотностям. На границах же сред равной преломляемости отражения нет совсем.

Аналогия между отражением и преломлением будет ясной, если обратить внимание на следующее: если свет проходит отлого из одной среды в другую, которая преломляет свет от перпендикуляра, то, чем больше разность их преломляющей плотности, тем меньшая отлогость падения требуется для полного отражения. Ибо синусы, измеряющие преломление, относятся так же, как синус падения, при котором начинается полное отражение, относится к радиусу круга, и следовательно, наименьший угол падения будет при наибольшей разности синусов. Так, при прохождении света из воды в воздух, когда преломление измеряется отношением синусов 3 к 4, полное отражение начинается при угле падения около 48 градусов 35 минут. При прохождении из стекла в воздух, где преломление измеряется отношением синусов 20 к 31, полное отражение начинается при угле падения 40 градусов 10 минут; при выходе из хрусталя или еще более преломляющей среды в воздух требуется еще меньшая отлогость для того, чтобы вызвать полное отражение. Поэтому поверхности, наиболее преломляющие, скорее всего отражают весь свет, падающий на них, и потому должны считаться наиболее сильно отражающими[101].

Справедливость предложения явствует, далее, из наблюдения, что на поверхностях, расположенных между двумя прозрачными средами (каковы воздух, вода, масло, обыкновенное стекло, хрусталь, металлические стекла, исландские стекла, белый прозрачный мышьяк, алмазы и пр.), отражение сильнее или слабее соответственно большей или меньшей преломляющей силе. Ибо на границе воздуха и каменной соли отражение сильнее, чем на границе воздуха и воды, еще сильнее на границе воздуха и обыкновенного стекла или хрусталя и еще сильнее на границе воздуха и алмаза. Если какое-нибудь из этих или подобных прозрачных твердых тел погру-

зить в воду, отражение его станет много слабее, чем раньше, и будет еще слабее, если тело погрузить в более преломляющую жидкость, в очищенное купоросное масло или терпентиновый спирт. Если воду разделить воображаемой поверхностью на две части, то на границе этих двух частей отражения не будет совсем. На границе воды и льда оно очень мало, на границе воды и масла несколько больше, воды и каменной соли — еще больше, еще больше на границе воды и стекла, или хрусталя, или других более плотных веществ, соответственно большему или меньшему различию этих сред в их преломляющей силе. Поэтому на границе обычного стекла и хрусталя должно быть слабое отражение, более сильное — на границе обыкновенного стекла и стекла, содержащего металл, хотя я этого и не пробовал. Но на границе двух стекол равной плотности заметного отражения нет, как было показано в первом наблюдении. То же следует полагать для поверхностей, находящихся между двумя хрусталями, или двумя жидкостями, или какими-либо иными веществами, в которых не вызывается преломления. Таким образом причина того, почему однородные прозрачные среды (каковы вода, стекло или хрусталь) заметно отражают только на их внешних поверхностях, где они прилегают к другим средам отличной плотности, — в том, что все их соприкасающиеся части имеют одну и ту же степень плотности.

ПРЕДЛОЖЕНИЕ II.

Наименьшие частицы почти всех природных тел в некоторой мере прозрачны, и темнота этих тел возникает от множества отражений, вызываемых в их внутренних частях.

Что это так, наблюдали уже другие, и с этим согласятся те, кто имел дело с микроскопами. Это можно проверить также, поднося какое-нибудь тело к отверстию, через которое свет впускается в темную комнату. Ибо, сколь бы темным ни казалось это вещество на открытом воздухе, в этом случае оно является весьма ясно

прозрачным, если вещество достаточно тонко. Исключены должны быть только белые металлические тела, которые благодаря их чрезвычайной плотности отражают, повидимому, почти весь свет, падающий на их первую поверхность, но при разведении в растворяющих средствах[102] они раздробляются на весьма малые частицы и тогда становятся прозрачными.

ПРЕДЛОЖЕНИЕ III.

Между частицами темных и окрашенных тел существуют многие промежутки, пустые или наполненные средами других плотностей; такова вода между окрашивающими корпускулами, пропитывающими какую-либо жидкость, воздух между водяными шариками, составляющими облака и туманы, а также по большей части пространства между частицами твердых тел, лишенные воздуха и воды, но, может быть, не вполне свободные от всякого вещества.

Справедливость этого доказывается двумя предыдущими предложениями, ибо, по второму предложению, существуют значительные отражения, производимые внутренними частями тела, чего, по предложению первому, не может произойти, если бы частицы этих тел непрерывно следовали одна за другой без промежутков, так как отражения вызываются только на поверхностях, разделяющих среды различной плотности.

Далее, эта прерывность частиц — главная причина темноты тел, что будет ясным, если обратить внимание на то, что темные вещества становятся прозрачными при заполнении пор между ними веществом с плотностью, равной или почти равной плотности его частиц. Так, бумага, пропитанная водой или маслом, камень *Oculus Mundi*[102a], намоченный в воде, намасленная или пропитанная лаком льняная ткань и многие другие вещества, намоченные жидкостями, которые тесно заполняют их мелкие поры, становятся таким способом более прозрачными, чем раньше; также и наоборот: наиболее прозрачные вещества при очищении их пор или разде-

лении частиц могут становиться довольно темными, как, например, соли, влажная бумага, камень *Oculus Mundi* при осушении, рог при соскабливании, стекло, если его обратить в порошок или разбить иным способом, терпентин при разбалтывании с водою до несовершенного смешивания, вода при превращении ее во множество маленьких пузырьков в виде пены, если вода одна, или при взбалтывании ее с терпентиновым или оливковым маслом или другими подходящими жидкостями, с которыми она не перемешивается полностью. Для увеличения темноты этих тел имеет также некоторое значение то, что, по 23-му наблюдению, отражения весьма тонких прозрачных веществ значительно сильнее, чем отражения в тех же веществах, но большей толщины [103].

ПРЕДЛОЖЕНИЕ IV.

Для того чтобы тела могли быть темными и окрашенными, частицы тел и промежутки между ними не должны быть меньше некоторой определенной толщины.

Ибо самые темные тела, если частицы их тонко разделены (как металлы при растворении в кислых растворителях и пр.), становятся совершенно прозрачными. Вы можете также вспомнить, что в восьмом наблюдении не было заметного отражения на поверхности объективных стекол там, где они были весьма близки одно к другому, хотя соприкосновение и не было абсолютным. И в 17-м наблюдении отражение от водяного пузыря там, где он тоньше всего, было незаметным, так что, благодаря отсутствию отраженного света, на вершине пузыря появлялись очень черные пятна.

По этим основаниям, я полагаю, прозрачны вода, соль, стекло, камни и тому подобные вещества. Ибо, по различным соображениям, они, повидимому, столь же полны пор или промежутков между их частями, как и другие тела, однако их части и промежутки слишком малы, чтобы вызвать отражения на их общих поверхностях.

ПРЕДЛОЖЕНИЕ V.

Прозрачные части тел, соответственно их различным размерам, отражают лучи одного цвета и пропускают другие на том же основании, как тонкие пластинки или пузыри отражают или пропускают те или иные лучи. Это я полагаю причиною всех цветов тел.

Ибо если тонкое или пластинчатое тело, будучи одинаковой толщины, кажется всюду одинакового цвета и если такое тело расщепить на волокна или разбить на куски той же толщины, как у пластинки, то я не вижу причины, почему каждое волокно или кусок не сохранит своей окраски, а следовательно, почему куча таких волокон или кусков не составит массы или порошка того же цвета, который давала пластинка до ее раздробления. Части всякого природного тела, являясь подобными таким же кусочкам пластинки, должны на тех же основаниях проявлять те же цвета.

Что это так, будет ясно из сходства их свойств. Прекрасно окрашенные перья некоторых птиц и особенно перья павлиньего хвоста кажутся различных цветов в той же части пера при различных положениях глаза, таким же образом, как это было найдено относительно тонких пластинок в 7-м и 19-м наблюдениях; поэтому их цвета возникают от тонкости прозрачных частей перьев, т. е. от тонкости крайне нежных волосков, или *Capillamenta*, которые растут по сторонам более толстых боковых ветвей или волокон этих перьев [104]. По той же причине паутины некоторых пауков, если они очень тонко сотканы, кажутся окрашенными, как наблюдали некоторые, и окрашенные волокна некоторых шелков меняют цвет при изменении положения глаза. Цвета шелков, тканей и других тел, которые могут насквозь проникаться водой или маслом, становятся более слабыми и темными при погружении в такие жидкости, приобретая свою силу снова при высушивании, подобно тому как это происходит с тонкими телами в 10-м и 21-м наблюдениях. Листовое золото, некоторые сорта окрашен-

ного стекла, настойка *Lignum Nephriticum*[58] и некоторые другие вещества отражают один цвет и пропускают другой подобно тонким телам в 9-м и 20-м наблюдениях. Некоторые из тех окрашенных порошков, которые применяют художники, могут слегка изменять свой цвет при тщательном и тонком измельчении. Я не вижу, что̀ другое может вызвать на самом деле такие изменения, кроме разбивания частей тел еще на меньшие части при раздроблении, таким же образом, как цвет тонкой пластинки меняется при изменении ее толщины. По этой же причине окрашенные цветы растений и трав при растирании становятся обыкновенно прозрачнее или, по меньшей мере, в той или иной степени меняют свою окраску. Не менее соответствует моему предположению то, что при смешивании различных жидкостей могут получиться весьма странные и примечательные продукты и изменения цветов; никакая другая причина этих изменений не может быть столь очевидной и рациональной, как та, что корпускулы соли одной жидкости действуют различным образом или соединяются с окрашивающими корпускулами другой; при этом корпускулы разбухают, или сжимаются (причем может изменяться не только их объем, но и плотность), или разделяются на более мелкие корпускулы (причем окрашенная жидкость становится более прозрачной), или несколько частиц соединяются в одну группу, причем две прозрачные жидкости могут превратиться в окрашенную. Ибо мы видим, с какою легкостью одни солевые растворители проникают и растворяют вещества, к которым они прибавлены, другие же из них осаждают то, что растворили первые. Подобным же образом, если мы рассмотрим различные явления атмосферы, мы можем заметить, что пары, только что начавшие подниматься, не мешают прозрачности воздуха, так как они разделены на части слишком малые, для того чтобы вызвать какое-либо отражение на их поверхности. Но по мере того, как пары превращаются в капли дождя, они начинают соединяться и составляют шарики всех промежуточных размеров; когда эти шарики, достигнув подходящего размера, начинают отражать одни

цвета и пропускать другие, они слагаются в облака различной окраски в зависимости от размеров шариков. И я не вижу иного рационального объяснения получения этих цветов в столь прозрачном веществе, как вода, кроме различных размеров ее жидких шаровидных частиц.

ПРЕДЛОЖЕНИЕ VI.

Части тел, от которых зависят их цвета, плотнее, чем среда, заполняющая промежутки между ними.

Это станет ясным, если обратить внимание на то, что цвет какого-нибудь тела зависит не только от лучей, падающих перпендикулярно на его части, но также и от лучей, падающих под другими углами, и что, согласно 7-му наблюдению, небольшое изменение наклона изменит отраженный цвет в том случае, когда тонкое тело или малая частица менее плотна, чем окружающая среда; такая малая частица при различных наклонах падения будет отражать все сорта цветов в таком разнообразии, что цвет, получающийся при сложении всех сортов, в том случае, когда он отражается во все стороны от множества частиц, будет скорее белым или серым, чем какой-либо иной окраски, или в лучшем случае он будет весьма несовершенным и грязным цветом. Наоборот, если тонкое тело или малая частица значительно плотнее окружающей среды, то, согласно 19-му наблюдению, цвета столь мало меняются при изменении наклона и могут господствовать над остальными в такой мере, что куча таких частиц будет казаться весьма интенсивного цвета.

Это предложение подтверждается несколько также тем, что, согласно 22-му наблюдению, цвета, проявляемые плотными тонкими телами внутри менее плотных, более блестящи, чем цвета, проявляемые менее плотными телами, находящимися внутри более плотных.

ПРЕДЛОЖЕНИЕ VII.

О толщине составных частей естественных тел можно заключить по их цветам.

Ибо, поскольку весьма вероятно, что части этих тел по предложению 5 проявляют такие же цвета, как пластинка такой же толщины с одинаковой преломляющей плотностью, и эти части в большинстве случаев имеют одинаковую плотность, как у воды или стекла, как можно заключить по многим обстоятельствам, то для определения размеров этих частей вы должны только прибегнуть к предшествующим таблицам, в которых выражены толщины воды или стекла, проявляющие данные цвета. Так, если желательно знать диаметр корпускулы с плотностью такою же, как у стекла, и отражающей зеленый цвет третьего порядка, то число $16^1/_4$ покажет, что ее диаметр будет $\frac{16^1/_4}{1\,000\,000}$ дюйма.

Наиболее трудно при этом определить, какого порядка цвет какого-нибудь тела. Для этой цели мы должны прибегнуть к 4-му и 18-му наблюдениям, из которых могут быть получены следующие частные заключения.

Багряные и другие *красные*, *оранжевые* и *желтые*, если они чисты и интенсивны, наиболее вероятно второго порядка. Те же цвета первого и третьего порядка могут быть также очень хорошими; только желтый первого порядка слаб, оранжевый же и красный третьего порядка сильно смешаны с фиолетовым и синим.

Могут быть хорошие *зеленые* цвета четвертого порядка, но наиболее чистый зеленый — третьего порядка. Повидимому, таков порядок зеленого цвета всех растений, частью ввиду его интенсивности, частью же потому, что при увядании некоторые растения делаются зеленовато-желтыми, другие совершенно желтыми или оранжевыми или даже красными, проходя сначала через все сказанные промежуточные цвета. Эти изменения, повидимому, вызываются выдыханием влаги, оставляющей окрашивающие корпускулы более плотными, а также до некоторой степени увеличением маслянистой и земляной части жидкости [105]. Зеленый цвет несомненно того же порядка, как и цвета, в которые он переходит, потому что изменения постепенны, получающиеся же цвета хотя обычно и не очень полны, однако часто

слишком полны и живы, чтобы относиться к четвертому порядку.

Синие и *пурпуровые* могут быть как второго, так и третьего порядка, но наилучшие относятся к третьему. Так, цвет фиалок, повидимому, этого порядка, потому что их настойка обращается кислыми жидкостями в красный цвет, мочой и щелочами — в зеленый. Ибо в природе кислот — растворять или утоньшать, а в природе щелочей — осаждать или сгущать; поэтому если пурпуровый цвет настойки был второго порядка, то кислая жидкость, утоньшая его окрашивающие корпускулы, изменит цвет в красный первого порядка, щелочь же, сгущая корпускулы, изменит цвет в зеленый второго порядка; эти цвета — красный и зеленый, в особенности зеленый, — кажутся слишком несовершенными, чтобы соответствовать цветам, производимым такими изменениями. Если, однако, предположить, что указанный пурпуровый цвет третьего порядка, то без всякого неудобства можно допустить его изменение в красный второго и зеленый третьего порядка.

Если нашлось бы тело более глубокой и менее красновато-пурпуровой окраски, чем у фиалок, то цвет его наиболее вероятно будет второго порядка. Однако нет общеизвестного тела, цвет которого был бы постоянно более глубоким, чем у фиалок, и я воспользовался их названием для обозначения самых глубоких и наименее красноватых пурпуров, которые, очевидно, превосходят по чистоте цвет фиалок.

Синий первого порядка, хотя весьма слабый и небольшой, может быть цветом некоторых веществ, и в частности лазурный цвет неба, повидимому, этого порядка. Ибо все пары, начиная сгущаться и соединяться в малые частицы, становятся сначала такой толщины, что должна отражаться лазурь, прежде чем частицы составят облака других цветов. Являясь первым цветом, который начинает отражать пары, лазурь должна быть цветом самого чистого и наиболее прозрачного неба, в котором пары не дошли еще до величины, потребной для отражения других цветов, как мы находим это на опыте.

Белизна, если она интенсивна и светла, — первого порядка, если же менее сильна и светла, — то смесь

цветов различных порядков. Этого последнего рода белизна пены, бумаги, полотна и большинства белых веществ; белизной первого рода я считаю цвет белых металлов [106]. Ибо самый плотный из металлов — золото в тонком листочке прозрачно, а все металлы становятся прозрачными при растворении в жидкостях и стеклах; поэтому непрозрачность белых металлов возникает не только от их плотности. Будучи менее плотными, чем золото, они должны бы являться более прозрачными, чем золото, если бы некоторая другая причина не помогала плотности в отношении увеличения непрозрачности. И я полагаю, что эта причина — такая толщина частиц белых металлов, которая делает их способными отражать белый первого порядка. Ибо, если бы они имели другие толщины, они могли бы отражать другие цвета, как это явствует из цветов, появляющихся на накаленной стали при охлаждении, а иногда на поверхности расплавленных металлов в верхнем слое, или окалине, появляющейся при охлаждении. Белый первого порядка — самый сильный цвет, который может быть получен от пластинок прозрачных веществ; поэтому он должен быть сильнее в более плотном веществе металлов, чем в менее плотном воздухе, воде и стекле. Я не вижу, почему металлические вещества такой толщины, которая способствует отражению белого первого порядка, не могут благодаря их большой плотности (соответственно смыслу первого из этих предложений) отражать весь свет, падающий на них, и не делаться непрозрачными и блестящими, насколько это возможно для какого-нибудь тела. Золото или медь, смешанные менее чем с половиною веса серебра, или олова, или сурьмы, при плавлении или амальгамировании с небольшим количеством ртути становятся белыми; это показывает, что частицы белого металла имеют значительно бóльшую поверхность и одновременно меньше, чем частицы золота и меди, и что частицы белого металла настолько непрозрачны, что не позволяют просвечивать сквозь них частицам золота или меди. Едва ли можно сомневаться, что цвета золота и меди — второго и третьего порядка, и поэтому частицы

белых металлов не могут быть много толще, чем требуется для отражения белого первого порядка. Летучесть ртути показывает, что эти частицы не могут быть много толще, но не могут и быть значительно тоньше, иначе они потеряют свою непрозрачность и станут либо прозрачными, как это происходит с ними при утонении стеклованием или разведением в растворителе, либо черными, когда частицы уменьшаются трением (при натирании серебра, или олова, или свинца о другие вещества, когда нужно провести черные линии). Первый и единственный цвет, который белые металлы приобретают при размельчении их частиц, — черный, и поэтому их белый должен быть тем цветом, который граничит с черным пятном центра цветных колец, т. е. белым первого порядка. Но если отсюда вы хотите получить толщину металлических частиц, то должны знать их плотность. Ибо если бы ртуть была прозрачной, то плотность ее такова, что синус падения на нее (по моим расчетам) должен бы относиться к синусу преломления, как 71 к 20 или 7 к 2. Поэтому толщина ее частиц для проявления тех же цветов, как и на водяных пузырях, должна быть меньше толщины пленки этих пузырей в отношении 2 к 7. Отсюда возможно, что частицы ртути могут быть столь же малыми, как частицы некоторых прозрачных и летучих жидкостей, хотя и отражают белый цвет первого порядка.

Наконец, для того чтобы производить *черный* цвет, корпускулы должны быть меньше любой из частиц, проявляющей цвета. Ибо при всех бо́льших размерах слишком много света отражается, для того чтобы мог составиться черный цвет. Но если предположить, что корпускулы немного меньше, чем требуется для отражения белого и очень слабого синего первого порядка, то, согласно 4-му, 8-му, 17-му и 18-му наблюдениям, они отражают столь мало света, что будут казаться интенсивно черными, хотя, быть может, и преломляют свет различным образом туда и сюда внутри себя, пока он не затухнет и не затеряется; таким образом тело будет казаться черным при всех положениях глаза, без всякой

прозрачности. Отсюда можно понять, почему огонь и еще более тонкий растворитель — гниение, разделяя частицы веществ, обращают их в черное, почему небольшие количества черных веществ отдают очень свободно и интенсивно другим веществам, к которым они прибавлены, свою окраску (маленькие частицы черных веществ легко облекают большие частицы других веществ благодаря своему большему числу), почему стекло, тщательно притираемое песком на медной пластинке, пока стекло не отполируется, обращает песок вместе со стертым стеклом и медью в черный цвет, почему черные вещества скорее всех других нагреваются на солнечном свету и горят (что может происходить частью от множества преломлений в небольшом пространстве и частью от легкой подвижности столь малых частиц) и почему черные цвета обыкновенно несколько склонны к синеватому цвету. Это можно видеть, освещая белую бумагу светом, отраженным от черных веществ, — бумага кажется обыкновенно синевато-белой; причина этого в том, что черный граничит с темносиним первого порядка, описанным в 18-м наблюдении, и поэтому отражает лучи этого цвета более, чем другие.

В этих описаниях я занялся подробностями, потому что не исключена возможность того, что со временем при усовершенствовании микроскопов может быть удастся открыть частицы тел, от которых зависит их цвет, если в некоторой мере микроскопы уже не дошли до такой степени совершенства. Ибо если эти инструменты усовершенствованы или могут быть усовершенствованы настолько, чтобы представлять с достаточной отчетливостью предметы в пятьсот или шестьсот раз больше, чем они кажутся нашему простому глазу на расстоянии одного фута, то я надеюсь, что мы будем в состоянии открыть некоторые самые большие из этих корпускул. При помощи микроскопа, увеличивающего в три или четыре тысячи раз, быть может откроются все частицы, кроме тех, которые производят черноту. В то же время я не вижу в этом рассуждении ничего существенного, в чем можно бы рационально сомневаться, за исключением следующего

положения: прозрачные корпускулы такой же толщины и плотности, как у пластинки, проявляют те же цвета. Я не хочу понимать это во всей строгости, ввиду того, что корпускулы могут иметь неправильные фигуры и многие лучи будут падать на них отлого, совершая в них более короткий путь, чем длина диаметра корпускул, а также потому, что сжатость среды, стесняемой со всех сторон между корпускулами, может несколько изменять их движения или другие качества, от которых зависит отражение. Но я не могу придавать большого значения последнему обстоятельству, так как наблюдал, что некоторые маленькие пластинки слюды равной толщины казались в микроскоп одинаковой окраски на краях и углах, где кончалась заключенная внутри среда, как и в остальных местах. Во всяком случае наше удовлетворение возрастет, если можно будет открыть эти корпускулы микроскопом; если это удастся, то, я опасаюсь, здесь будет крайний предел зрения. Ибо, повидимому, невозможно видеть далее тайные и благородные действия природы внутри корпускул в силу их прозрачности.

ПРЕДЛОЖЕНИЕ VIII.

Причина отражения не заключается в ударе света о твердые и непроницаемые части тел, как это обыкновенно думают.

Это станет ясным из следующих соображений. Во-первых, при переходе света из стекла в воздух отражение столь же сильно, как и при его переходе из воздуха в стекло, или даже несколько сильнее и в значительной степени сильнее, чем при переходе из стекла в воду. Кажется невероятным, чтобы воздух обладал более сильно отражающими частями, чем вода или стекло. Однако, если даже предполагать такую возможность, это все же будет бесполезным, ибо отражение столь же сильно или еще сильнее, когда воздух удален от стекла (например, воздушным насосом, изобретенным *Отто Герике* [107] и усовершенствованным и примененным мр. *Бойлем*), как и в том случае, когда воздух около стекла. Во-вторых,

если свет при своем переходе из стекла в воздух падает наклоннее, чем под углом в 40 и 41 градус, он отражается полностью; если же он наклонен меньше, то пропускается в большей степени. Нельзя представить себе, что свет при одной степени наклона встречается с достаточным количеством пор в воздухе и в значительной мере проходит, а при другой степени наклона встречается только с частями, полностью его отражающими, особенно если вспомнить, что при переходе из воздуха в стекло, как бы отлого ни было падение, в стекле всегда находится достаточно пор для пропускания большой доли света. Если кто-нибудь предположит, что свет отражается не воздухом, но крайними поверхностными частями стекла, то останется то же затруднение; уже помимо того, что подобное предположение непонятно, оно оказывается ложным также в том случае, если воздух за некоторыми частями стекла заменить водою. Ибо при подходящей отлогости лучей, например в 45 или 46 градусов, при которой все они отражаются там, где воздух прилегает к стеклу, они будут в большой мере пропускаться там, где прилегает вода, что доказывает, что отражение или прохождение зависит от строения воздуха и воды за стеклом, а не от ударов лучей о части стекла. В-третьих, если цвета, получаемые при помощи призмы, помещенной при входе пучка света в темную комнату, последовательно отбрасываются на вторую призму, поставленную на большом расстоянии от первой так, что все лучи падают на нее одинаковым образом, то вторую призму можно так наклонить к падающим лучам, что лучи синего цвета все отражаются призмой, лучи же красного цвета весьма обильно пропускаются. Если, теперь, отражение вызывается частями воздуха или стекла, то, спрошу я, почему при том же наклоне падения синие лучи все ударяются об эти части, полностью отражаясь, красные же находят достаточно пор для прохождения в значительной мере. В-четвертых, там, где два стекла касаются одно другого, нет заметного отражения, как было выяснено в первом наблюдении; и, однако, я не вижу основания, почему лучи не будут

ударяться о части стекла в том случае, когда оно касается другого стекла, как при соприкосновении с воздухом. В-пятых, когда вершина водяного пузыря (в 17-м наблюдении) посредством непрерывного стечения и испарения воды становилась очень тонкой, то в ней было столь малое и почти неощутимое количество отраженного света, что она казалась интенсивно черной, в то время как вокруг этого черного пятна, там, где вода была толще, отражение было настолько сильным, что вода казалась весьма белой. Ясного отражения не было не только при наименьших толщинах тонких пластинок и пузырей, но и при других толщах, постепенно все бо́льших и бо́льших. Ибо в 15-м наблюдении лучи того же цвета по очереди пропускались при одной толщине и отражались при другой толщине в неопределенном числе чередований. И, однако, на поверхности тонкого тела, там, где оно имеет некоторую толщину, есть столько же частей для ударов лучей, как и при других толщинах. В-шестых, если бы отражение вызывалось частями отражающего тела, было бы невозможно для тонких пластинок или пузырей отражать в одном и том же месте лучи одного цвета и пропускать лучи другого, как это происходит согласно 13-му и 15-му наблюдениям. Ибо нельзя вообразить, чтобы в том же месте лучам, проявляющим, например, синий цвет, суждено было столкнуться с частями тела, лучам же, проявляющим красный цвет, попасть в поры тела; и далее, в другом месте, где тело либо немного толще, либо немного тоньше, наоборот, синий цвет попадал в поры, а красный — на частицы[108]. Наконец, если бы лучи света отражались благодаря ударам о твердые части тел, их отражения от полированных тел не могли бы стать столь правильными, каковы они есть. Ибо нельзя воображать, что при полировке стекла песком, оловянным пеплом или трепелом эти вещества при трении и царапании стекла точно полируют все его мельчайшие частицы, так что их поверхности становятся правильно плоскими или правильно сферическими, составляя при этом ровную поверхность. Чем меньше частицы этих веществ, тем меньше будут

бороздки, которыми они непрерывно стирают и сглаживают стекло, пока оно не станет полированным; но эти частицы не настолько малы, чтобы они могли сглаживать стекло иным способом, кроме царапания, проведения бороздок и ломания выпуклостей; они полируют стекло не иначе, как сводя его грубость к тонкому зерну, так что царапины и бороздки на поверхности становятся слишком малыми, чтобы быть заметными. Поэтому, если бы свет отражался благодаря ударам о твердые части стекла, он рассеялся бы наиболее полированным стеклом так же, как самым грубым. Таким образом остается вопрос, каким способом стекло, полированное трением различными веществами, может отражать свет столь правильно, как это есть на самом деле. Едва ли можно решить эту задачу иначе, как утверждая, что отражение луча производится не одной точкой отражающего тела, но некоторой силой тела, равномерно рассеянной по всей его поверхности, посредством которой тело действует на луч без непосредственного прикосновения. Ибо то, что части тел действуют на свет на расстоянии, будет показано позже.

Если же свет отражается не при ударах о твердые части тел, но по какому-либо иному началу, то вероятно, что те лучи, которые ударяются о твердые части тела, не отражаются, но тушатся и теряются в телах. Ибо иначе мы должны допустить два сорта отражения. Если бы отражались все лучи, которые ударяются о внутренние части чистой воды или хрусталя, то эти вещества должны бы скорее иметь облачный цвет, чем ясную прозрачность. Для того чтобы тела казались черными, необходимо, чтобы многие лучи были остановлены, задержаны и затеряны в теле, и кажется невероятным, чтобы могли быть остановленными и затушенными в телах те лучи, которые не ударяются о части тела.

Отсюда можно заключить, что тела значительно разреженнее и пористее, чем обыкновенно думают. Вода в девятнадцать раз легче, а следовательно, в девятнадцать раз разреженнее золота, золото же настолько разрежено, что без малейшего сопротивления пропускает

магнитные истечения, легко допускает ртуть в свои поры и пропускает через себя воду. Ибо полая сфера из золота, наполненная водой и запаянная, при надавливании на нее с большой силой пропускает через себя воду и покрывается снаружи множеством маленьких капель подобно росе, причем золотой шар не разрывается и не трескается, как мне сообщал один очевидец. Из этого всего мы можем заключить, что в золоте больше пор, чем твердых частей, и, следовательно, в воде свыше чем в сорок раз больше пор, чем частей. Тот, кто отыщет гипотезу, по которой вода, будучи столь разреженной, в то же время неспособна к сжатию силой, сможет, несомненно, при помощи той же гипотезы представить золото и воду и все другие тела сколь ему угодно разреженными, так что свет может свободно проходить через прозрачные вещества.

Магнит действует на железо через все плотные немагнитные и ненакаленные докрасна тела без всякого уменьшения своей способности, как, например, через золото, серебро, свинец, стекло, воду[109]. Сила тяготения солнца пропускается через обширные тела планет без всякого уменьшения, так что она действует на все части планет вплоть до их центров с той же силой и по тем же законам, как будто бы часть, на которую они действуют, не была окружена телом планеты. Лучи света, являются ли они очень малыми брошенными телами или только движением или распространяющейся силой, движутся по прямым линиям, и если луч света отклоняется каким-нибудь препятствием от своего прямолинейного пути, он никогда, за исключением разве редчайших случаев, не вернется на прежний прямолинейный путь. И, однако, свет пропускается через прозрачные твердые тела по прямым линиям на очень большие расстояния. Очень трудно, хотя, быть может, не совсем невозможно, понять, каким образом у тел может быть достаточное количество пор для этого. Ибо цвета тел возникают от величины частиц, их отражающих, как было объяснено выше. Представим себе, что эти частицы тел расположены так, что промежутки или пустые пространства

между ними равны им всем по величине, что частицы могут быть составлены из других частиц, более мелких, пустое пространство между которыми равно величине всех этих меньших частиц, и что подобным же образом эти более мелкие частицы снова составлены из еще более мелких, которые все вместе по величине равны всем порам или пустым пространствам между ними. Если в каком-нибудь большом теле имеются, например, три таких степени частиц, наименьшие из которых твердые, то в этом теле будет в семь раз более пор, чем твердых частей. Если же будет четыре таких степени частиц, наименьшие из которых твердые, то тело будет иметь в пятнадцать раз более пор, чем твердых частей. Если есть пять таких степеней, в теле будет в тридцать один раз более пор, чем твердых частей. При шести степенях в теле будет в шестьдесят три раза больше пор, чем твердых частей. И так далее до бесконечности. Есть и другие пути для понимания исключительной пористости тел. Но каково в действительности их внутреннее строение — мы еще не знаем[110].

ПРЕДЛОЖЕНИЕ IX.

Тела отражают и преломляют свет при помощи одной и той же силы, проявляемой различным образом в различных обстоятельствах.

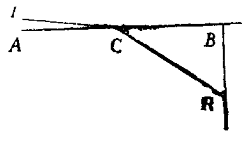
Это ясно по различным соображениям. Во-первых, потому, что когда свет идет из стекла в воздух отлого, насколько возможно, то при увеличении наклона его падения он полностью отражается. Ибо сила стекла, после того как оно преломило свет, отлогий насколько возможно, становится слишком большой для того, чтобы пропустить какой-либо из лучей света, и вследствие этого вызывает полное отражение. Во-вторых, потому, что свет попеременно отражается и пропускается тонкими пластинками стекла много раз соответственно возрастанию толщины пластинки в арифметической прогрессии. Ибо здесь толщина стекла определяет, будет ли сила, посредством которой стекло действует на свет, вызывать

отражение или пропускание света. И, в-третьих, потому, что те поверхности прозрачных тел, которые имеют наибольшую преломляющую силу, отражают наибольшее количество света, как было показано в первом предложении.

ПРЕДЛОЖЕНИЕ X.

Если свет в телах распространяется быстрее, чем в пустоте, в отношении синусов, измеряющих преломление тел, то силы тел, заставляющие свет отражаться или преломляться, весьма точно пропорциональны плотностям тел, за исключением маслянистых и серных, которые преломляют больше, чем другие тела той же плотности.

Пусть AB[111] представляет преломляющую плоскую поверхность какого-нибудь тела, IC — луч, падающий весьма отлого на тело в C, так что угол ACI может быть бесконечно малым, и пусть CR — луч преломленный. Из некоторой данной точки B перпендикулярно к преломляющей поверхности восставим BR, пересекающийся с преломленным лучом CR в R; если CR представляет движение преломленного луча и это движение разложено на два движения: CB и BR, причем CB параллельно преломляющей плоскости и BR к ней перпендикулярно, то CB изобразит движение падающего луча, и BR — движение, создаваемое преломлением, как недавно объяснено оптиками[112].



Фиг. 53.

Если, теперь, тело или предмет, двигаясь через пространство данной ширины, ограниченное по обеим сторонам двумя параллельными плоскостями, понуждается вперед во всех частях этого пространства силами, направленными прямо вперед к конечной плоскости, если тело до своего падения на первую плоскость не имело совсем или имело только бесконечно малое движение по направлению к плоскости и если силы во всех частях этого пространства между плоскостями, на равных

расстояниях от плоскостей, равны одна другой, а на различных расстояниях больше или меньше в данном отношении, то движение, производимое силами на всем прохождении тела или предмета через пространство, будет находиться в отношении корня квадратного сил, как легко поймут математики. Поэтому если считать таким пространством пространство действия преломляющей поверхности тела, то движение луча, создаваемое силой тела во время прохождения луча через это пространство, т. е. движение *BR*, должно быть в отношении квадратного корня из преломляющей силы. Я говорю поэтому, что квадрат линии *BR* и, следовательно, преломляющая сила тела весьма точно пропорциональна плотности тела[113]. Ибо это явствует из следующей таблицы, в которой в различных столбцах помещены отношения синусов, измеряющие преломления различных тел, квадраты *BR*, если предполагать, что *CB* равно единице, плотности тел, оцененные по удельным весам, и преломляющие силы в отношении их к плотностям.

Преломление воздуха в этой таблице определено по преломлению атмосферы, наблюденному астрономами. Ибо если свет проходит через много преломляющих веществ или сред, постепенно становящихся все плотнее и ограниченных параллельными поверхностями, то сумма всех преломлений будет равна одному преломлению, которое свет испытывал бы при непосредственном переходе из первой среды в последнюю. Это остается справедливым и в том случае, когда число преломляющих веществ возрастает до бесконечности, расстояние же от одного вещества к другому на столько же убывает, так что свет может преломляться в каждой точке своего пути и благодаря непрерывным преломлениям изгибается в кривую линию. Поэтому полное преломление света при переходе через атмосферу от высочайших и разреженнейших частей к самым нижним и наиболее плотным частям должно быть равно преломлению, которое свет будет претерпевать при переходе при любом наклоне из пустоты непосредственно в воздух с плотностью, равной той, которая имеется в самой нижней части атмосферы.

Преломляющие тела	Отношение синусов падения и преломления желтого цвета	Квадрат *BR*, которому пропорциональна преломляющая сила тела	Плотность и удельный вес тела	Преломляющая сила тела в отношении к его плотности
Псевдотопаз — природный, прозрачный, хрупкий, волокнистый камень желтого цвета[114]	23 к 14	1'699	4'27	3 979
Воздух	3201 к 3200	0'000625	0'0012	5 208
Сурьмяное стекло . .	17 к 9	2'568	5'28	4 864
Селенит[115]	61 к 41	1'213	2'252	5 386
Обыкновенное стекло .	31 к 20	1'4025	2'58	5 436
Горный хрусталь . . .	25 к 16	1'415	2'65	5 450
Исландский хрусталь .	5 к 3	1'778	2'72	6 536
Каменная соль	17 к 11	1'388	2'143	6 477
Квасцы	35 к 24	1'1267	1'714	6 570
Бура	22 к 15	1'1511	1'714	6 716
Селитра	32 к 21	1'345	1'9	7 079
Данцигский купорос[116]	303 к 200	1'295	1'715	7 551
Купоросное масло . .	10 к 7	1'041	1'7	6 124
Дождевая вода	529 к 396	1'7845	1	7 845
Гуммиарабик	31 к 21	1'179	1'375	8 574
Винный спирт, хорошо очищенный	100 к 73	0'8765	0'866	10 121
Камфора	3 к 2	1'25	0'996	12 551
Оливковое масло . . .	22 к 15	1'1511	0'913	12 607
Льняное масло	40 к 27	1'1948	0'932	12 819
Терпентиновый спирт	25 к 17	1'1626	0'874	13 222
Амбра[117]	14 к 9	1'42	1'04	13 654
Алмаз	100 к 41	4'949	3'4	14 556

Хотя псевдотопаз, селенит, горный хрусталь, исландский хрусталь, обыкновенное стекло (т. е. сплавленное с песком) и сурьмяное стекло, являющиеся землянымии каменистыми щелочными твердыми телами, и воздух, который, вероятно, возникает из подобных же веществ при брожении, — субстанции, весьма отличающиеся одна от другой по плотности, однако по таблице их преломляющие силы находятся почти в одном и том же отношении к плотностям, за исключением странного вещества — исландского хрусталя[118], преломление которого немного больше, чем у остальных. И в частности воздух, в 3500 раз менее плотный, чем топаз, в 4400 раз менее плотный, чем сурьмяное стекло, в 2000 раз менее плотный, чем селенит, обыкновенное стекло или горный хрусталь, имеет, несмотря на свою разреженность, то же отношение преломляющей силы к плотности, как указанные весьма плотные субстанции, за исключением только тех веществ, которые отличаются в этом отношении от других.

Также камфора, оливковое масло, льняное масло, терпентиновый спирт и амбра, являющиеся жирными, серными, маслянистыми телами, и алмаз, который, вероятно, также маслянистое сгустившееся вещество[119], обладают без значительных отклонений одинаковыми отношениями преломляющей силы к плотности. Но отношение преломляющих сил этих маслянистых веществ к их плотностям в два или три раза больше, чем то же отношение у предыдущих веществ.

Вода обладает преломляющей силой в средней степени между этими двумя сортами веществ и, повидимому, средней природы. Ибо из нее вырастают все растительные и животные вещества, состоящие как из серных, жирных и воспламеняющихся частей, так и из земляных, тощих и щелочных.

Соли и купоросы имеют преломляющие силы в средней степени между преломляющими силами земляных веществ и воды и соответственно составлены из этих двух сортов веществ. Ибо при дестилляции и очищении их спиртов бóльшая часть их переходит в воду и

значительная часть остается в форме сухой, твердой земли, способной к стеклованию.

Винный спирт имеет преломляющую силу в средней степени между водой и маслянистыми веществами и, следовательно, составлен, повидимому, из обоих веществ, соединенных брожением: вода при этом с помощью некоторых соляных спиртов [120], которыми она напитана, растворяет масло, и под ее действием масло становится летучим. Ибо винный спирт, воспламеняемый благодаря своим маслянистым частям, при повторной дестилляции из винного камня становится при каждой дестилляции все более водянистым и слизистым. Химики наблюдают, что растения (например лавенда, рута, маеран и пр.) при дестиллировании *per se* до брожения выделяют масла без горючих спиртов, после же брожения выделяют горючие спирты без масел, что указывает на превращение их масел при брожении в спирты. Химики находят также, что если масла подлиты в небольшом количестве к растительным субстанциям, находящимся в брожении, то они дестиллируются после брожения в форме спиртов.

Таким образом из предшествующей таблицы, повидимому, следует, что у всех тел их преломляющие способности пропорциональны их плотностям (или очень близки к этому), за исключением тех случаев, когда тела содержат больше или меньше серных маслянистых частиц, благодаря чему их преломляющая способность становится больше или меньше. Поэтому рационально приписать преломляющую силу всех тел главным образом, если не полностью, серным частям, которыми тела обладают в изобилии. Ибо вероятно, что все тела изобилуют в большей или меньшей степени серой. И поскольку свет, собираемый зажигательным стеклом, больше всего действует на серные тела, обращая их в огонь и пламя, постольку же сера должна больше всего действовать на свет, так как всякое действие взаимно. Ибо то, что действие света и тел взаимно, может стать ясным из такого соображения: наиболее плотные тела, преломляющие и отражающие свет наиболее сильно, нагреваются

на летнем солнце больше всего благодаря действию преломленного и отраженного света [121].

Я объяснял до сих пор отражательную и преломляющую силу тел и показал, что тонкие прозрачные пластинки, волокна и частицы отражают соответственно их различным толщинам и плотностям различные сорта лучей, являясь поэтому в различных цветах, и что, следовательно, для получения всех цветов естественных тел не требуется ничего иного, кроме различных размеров и плотностей прозрачных частиц тел. Но я, однако, еще не объяснил, почему эти тонкие пластинки, волокна и частицы отражают различные сорта лучей соответственно их различным толщинам и плотностям. Чтобы дать некоторое представление об этом и сделать понятной следующую часть этой книги, я закончу эту часть еще несколькими предложениями. Предыдущие предложения касались природы тел, последующие относятся к природе света. Ибо нужно понять то и другое, прежде чем станет ясным основание их действий друг на друга. И так как последнее предложение связано со скоростью света, я начну с предложения этого рода.

ПРЕДЛОЖЕНИЕ XI.

Свет распространяется от светящихся тел во времени и тратит около семи или восьми минут часа на прохождение от Солнца к Земле.

Это наблюдалось впервые *Рёмером* [122], а затем и другими при помощи затмений спутников *Юпитера*. Ибо, когда Земля находится между Солнцем и *Юпитером*, эти затмения происходят семью или восемью минутами скорее, чем они должны были бы произойти по таблицам; когда же Земля находится за Солнцем, затмения происходят семью или восемью минутами позже, чем должно; причина этого в том, что свет спутников должен пройти в последнем случае больше, чем в первом, на диаметр земной орбиты. Некоторые неравенства времени могут возникать от эксцентричности орбит спутников, но они не могут соответствовать для всех спутников и

во все времена положению и расстоянию Земли от Солнца. Среднее движение спутников *Юпитера* быстрее при его нисхождении от афелия к перигелию, чем при восхождении на другой половине орбиты, но это неравенство не имеет отношения к положению Земли и не заметно для трех внутренних спутников, как я нашел вычислением из теории их тяготения [123].

ПРЕДЛОЖЕНИЕ XII.

Каждый луч света при своем прохождении через любую преломляющую поверхность приобретает некоторое преходящее строение или состояние, которое при продвижении луча возвращается через равные интервалы и располагает луч при каждом возвращении к легкому прохождению через ближайшую преломляющую поверхность, между же возвращениями — к легкому отражению.

Это ясно из 5-го, 9-го, 12-го и 15-го наблюдений. Ибо из этих наблюдений видно, что один и тот же сорт лучей при равных углах падения на какую-либо тонкую прозрачную пластинку попеременно отражается и проходит во многих чередованиях соответственно тому, как толщина пластинки возрастает в арифметической прогрессии чисел: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 и т. д.; если первое отражение (создающее первое или самое внутреннее из цветных описанных там колец) происходит при толщине 1, то лучи будут пропускаться при толщинах: 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12 и т. д., создавая при этом центральное пятно и светлые кольца, видимые при прохождении; отражаться свет будет при толщинах: 1, 3, 5, 7, 9, 11 и т. д., создавая при этом кольца, видимые при отражении. Это переменное отражение и пропускание, как я заключаю из наблюдения 24-го, продолжается более чем при ста чередованиях, а по наблюдениям в следующей части этой книги — при многих тысячах, распространяясь от одной поверхности к другой в стеклянной пластинке, хотя толщина пластинки четверть дюйма или больше. Следовательно, это чередование

распространяется, повидимому, от каждой преломляющей поверхности на все расстояние без конца и предела.

Такое попеременное отражение и преломление зависит от обеих поверхностей всякой тонкой пластинки, так как оно определяется их расстоянием. По 21-му наблюдению, если смочить любую поверхность тонкой пластинки слюды, то цвета, вызываемые попеременным отражением и преломлением, становятся слабыми и, следовательно, последние зависят от обеих поверхностей.

Они происходят поэтому на второй поверхности, ибо, если бы они происходили на первой, прежде чем лучи дошли до второй, они не зависели бы от второй поверхности.

На них влияет также некоторое действие или расположение, распространяющееся от первой поверхности ко второй, так как иначе на второй поверхности они не зависели бы от первой. И это действие или расположение при своем распространении прерывается и возвращается через равные интервалы, так как на всем прохождении оно склоняет луч на одном расстоянии от первой поверхности к отражению от второй поверхности, на другом расстоянии — к прохождению через нее и всегда на равных интервалах в бесчисленных чередованиях. И так как луч расположен к отражению при расстояниях: 1, 3, 5, 7, 9 и т. д. и к прохождению при расстояниях: 0, 2, 4, 6, 8, 10 и т. д. (ибо он проходит через первую поверхность при расстоянии нуль и проходит через обе поверхности, если их расстояние бесконечно мало или много меньше 1), то расположение к прохождению при расстояниях: 2, 4, 6, 8, 10 и т. д. должно рассматриваться как возвращение того же расположения , которое луч имел вначале при расстоянии 0, т. е. при пропускании его через первую преломляющую поверхность. Все это и есть то, что я хотел доказать.

Какого рода это действие или расположение? Я не исследую здесь, состоит ли оно из вращательного или колебательного движения луча, или среды, или из чего-либо еще. Те, которые неохотно одобряют всякое новое открытие, если оно не объясняется гипотезой, могут

в настоящем случае предположить, что подобно тому, как камни, падая на воду, приводят ее в колебательное движение, и все тела при ударе возбуждают колебания в воздухе, так и лучи света, ударяясь о какую-нибудь преломляющую или отражающую поверхность, возбуждают колебания в преломляющей или отражающей среде или веществе, заставляя двигаться твердые части преломляющего или отражающего тела и таким движением вызывают в теле увеличение тепла или жара; можно предположить, что колебания, возбужденные таким образом, распространяются в преломляющей или отражающей среде или веществе подобно тому, как колебания распространяются в воздухе, вызывая звук, и движутся быстрее, чем лучи, обгоняя их; когда луч находится в той части колебания, которая согласуется с его движением, он легко пробивается через преломляющую поверхность; находясь в противоположной части колебания, мешающей его движению, он легко отражается; следовательно, каждый луч попеременно располагается или к легкому отражению или к легкому пропусканию каждым колебанием, обгоняющим его. Я не разбираю здесь, верна или ошибочна эта гипотеза. Я довольствуюсь простым открытием, что лучи света благодаря той или иной причине попеременно располагаются к отражению или преломлению во многих чередованиях [124].

ОПРЕДЕЛЕНИЕ.

Возвращения расположения какого-либо луча к отражению я буду называть его приступами легкого отражения; *возвращения его расположения к прохождению* — приступами легкого прохождения; *пространство, проходимое им между каждым возвращением и соседним,* — интервалом его приступов [125].

ПРЕДЛОЖЕНИЕ XIII.

Причина, по которой поверхности всех толстых прозрачных тел отражают часть падающего на них

света и преломляют остальной, — в том, что некоторые лучи при их падении находятся в приступе легкого отражения, а другие — в приступе легкого прохождения.

Это можно заключить из 24-го наблюдения, где свет, отраженный тонкими пластинками воздуха и стекла, казавшийся простому глазу ровно белым по всей пластинке, при рассматривании через призму являлся волнистым со многими чередованиями света и темноты, создаваемыми переменными приступами легкого отражения и легкого прохождения; при этом призма разделяла и отличала волны, из которых был составлен отраженный белый свет, как было объяснено выше.

Следовательно, свет находится в состоянии приступов легкого отражения и легкого прохождения и до падения на прозрачные тела. И, вероятно, он получил такие приступы при первом испускании от светящегося тела, сохраняя их во время всего своего пути. Ибо эти приступы — постоянной природы, как станет ясным из следующей части этой книги.

В этом предложении я полагаю прозрачные тела толстыми; если толщина тела меньше, чем интервал между приступами легкого отражения и прохождения лучей, тело теряет свою отражательную способность. Ибо если лучи, которые при входе в тело находились в приступах легкого прохождения, доходят до удаленнейшей поверхности тела до того, как они освободятся от этих приступов, они должны пройти. Такова причина, почему водяные пузыри теряют свою отражательную способность, когда становятся очень тонкими, и почему все темные тела, если их раздробить на очень малые части, становятся прозрачными.

ПРЕДЛОЖЕНИЕ XIV.

Те поверхности прозрачных тел, которые преломляют луч наиболее сильно, если он в приступе преломления, наиболее легко отражают луч, если он в приступе отражения.

Ибо мы показали выше, в *предложении VIII*, что причина отражения — не удар света о твердые, непроницаемые части тела, но некоторая другая сила, посредством которой эти твердые части действуют на свет на расстоянии. Мы показали также в *предложении IX*, что тела отражают и преломляют свет посредством одной и той же силы, проявляемой различным образом в различных обстоятельствах, а в *предложении I* — что наиболее сильно преломляющие поверхности отражают свет всего более. Сравнение всего этого вместе убеждает и подкрепляет оба предложения, это и предыдущее.

ПРЕДЛОЖЕНИЕ XV.

Для одного и того же сорта лучей, выходящих под некоторым углом из какой-нибудь преломляющей поверхности в одну и ту же среду, интервалы между последовательными приступами легкого отражения и прохождения относятся либо точно, либо весьма близко, как произведение секанса угла преломления и секанса другого угла, синус которого первый из 106 арифметических средних пропорциональных между синусом падения и преломления, отсчитываемых от синуса преломления.

Это явствует из 7-го и 19-го наблюдений [126].

ПРЕДЛОЖЕНИЕ XVI.

В различных сортах лучей, выходящих под равными углами из какой-либо преломляющей поверхности в одну и ту же среду, интервалы последовательных приступов легкого отражения и легкого прохождения относятся точно или почти точно, как кубические корни из квадратов длин струны со звуками, определяемыми нотами октавы: соль, ля, фа, соль, ля, ми, фа, соль *со всеми их промежуточными степенями, соответствующими цветам этих лучей, в согласии с аналогией, описанной в седьмом опыте второй части первой книги* [127].

Это явствует из 13-го и 14-го наблюдений.

ПРЕДЛОЖЕНИЕ XVII.

Если лучи различных сортов проходят перпендикулярно в различные среды, интервалы приступов легкого преломления и прохождения в каждой среде относятся к интервалам в другой среде, как синус падения к синусу преломления, в том случае, когда лучи проходят от первой из двух сред во вторую [128].

Это явствует из 10-го наблюдения.

ПРЕДЛОЖЕНИЕ XVIII.

Если лучи, дающие цвет на границе желтого и оранжевого, проходят перпендикулярно из какой-нибудь среды в воздух, интервалы их приступов легкого отражения равны $\frac{1}{89\,000}$ дюйма. Той же величины интервалы их приступов легкого прохождения.

Это явствует из 6-го наблюдения.

Из этих предложений легко получить интервалы приступов легкого отражения и легкого прохождения для каждого сорта лучей, преломляющихся под некоторым углом в какую-нибудь среду, и отсюда узнать, будут ли лучи отражаться или пропускаться при их последующем падении на другую прозрачную среду. Эти вещи помещаются здесь, ибо они полезны для понимания следующей части этой книги. По этой же причине я прибавляю два следующих предложения.

ПРЕДЛОЖЕНИЕ XIX.

Если какой-либо сорт лучей, падающих на полированную поверхность некоторой прозрачной среды, отражается назад, то приступы легкого отражения, которые лучи имеют в точке отражения, будут продолжать возвращаться, и возвращения будут происходить от точки отражения на расстояниях, находящихся в арифметической прогрессии чисел: 2, 4, 6, 8,

10, 12 и т. д.; между этими приступами лучи будут в приступах легкого прохождения.

Ибо если приступы легкого отражения и легкого прохождения — возвращающейся природы, то нет основания этим приступам, продолжавшимся вплоть до прихода луча к отражающей среде и склонившим луч к отражению, прекратиться. Если луч в точке отражения был в приступе легкого отражения, прогрессия расстояний этих приступов от точки отражения должна начаться от 0 и выразится числами 0, 2, 4, 6, 8 и т. д. Прогрессия же расстояний промежуточных приступов легкого прохождения, считаемая от той же точки, должна выразиться прогрессией нечетных чисел: 1, 3, 5, 7, 9 и т. д., противоположно тому, что происходит в том случае, когда приступы распространяются от точек преломления.

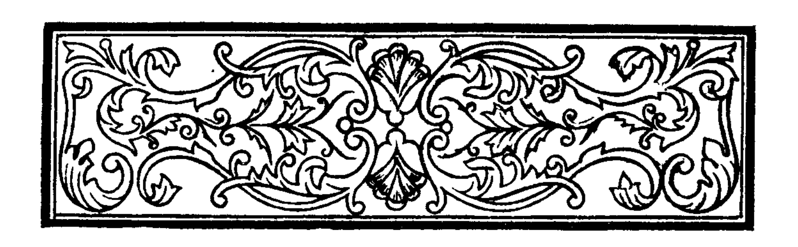
ПРЕДЛОЖЕНИЕ XX.

Интервалы приступов легкого отражения и легкого прохождения, распространяющиеся от точек отражения в некоторой среде, равны интервалам подобных же приступов, которые те же лучи должны иметь, если они преломляются в той же среде под углами преломления, равными их углам отражения.

Ибо когда свет отражается второй поверхностью тонких пластинок, он свободно входит через первую поверхность, создавая цветные кольца, видимые при помощи отражения; благодаря свободе выхода света цвета этих колец становятся более живыми и сильными, чем цвета, видимые на другой стороне пластинок при помощи проходящего света. Отраженные лучи находятся поэтому при их выходе в приступах легкого прохождения, чего не могло бы случиться, если бы интервалы приступов внутри пластинок после отражения не равнялись как по длине, так и по числу интервалам до отражения. Это подтверждает отношения, изложенные в предыдущем предложении. Ибо если лучи как при входе, так и при выходе из первой поверхности были в приступах легкого прохождения и интервалы и число этих

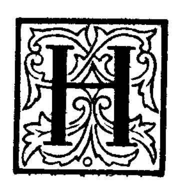
приступов между первой и второй поверхностью до и после отражения были равны, то расстояния приступов легкого прохождения от каждой поверхности должны быть в той же прогрессии до отражения, как и после него, т. е. от первой поверхности, пропускающей лучи, в прогрессии четных чисел: 0, 2, 4, 6, 8 и т. д., и от второй поверхности, отражающей лучи, в прогрессии нечетных чисел: 1, 3, 5, 7 и т. д. Однако оба эти предложения станут более очевидными из наблюдений следующей части этой книги.





ЧАСТЬ IV.

Наблюдения, касающиеся отражений и цветов толстых прозрачных полированных пластинок.



Не существует такого стекла или зеркала, хотя бы очень хорошо полированного, которое кроме света, правильно преломляемого или отражаемого, не рассеивало бы неправильно во все стороны слабого света, посредством которого полированная поверхность, если освещать ее в темной комнате пучком солнечного света, может быть легко видима при всех положениях глаза. Существуют некоторые явления этого рассеянного света, которые казались мне очень странными и удивительными, когда я их впервые наблюдал. Мои наблюдения были следующие [129].

Наблюдение 1. Когда солнце светило в мою затемненную комнату сквозь отверстие в одну треть дюйма шириною, я заставлял вошедший пучок света падать перпендикулярно на стеклянное зеркало, вогнуто отшли-

фованное с одной стороны и выпукло — с другой по сфере с радиусом в пять футов и одиннадцать дюймов и покрытое ртутью с выпуклой стороны. В центре сферы, по которой было отшлифовано зеркало, т. е. на расстоянии около пяти футов и одиннадцати дюймов от зеркала, я держал белый непрозрачный картон или бумагу таким образом, что пучок света мог проходить через маленькое отверстие в середине картона к зеркалу и оттуда отражался обратно к тому же отверстию. Я наблюдал тогда на картоне четыре или пять концентрических радуг или цветных колец, подобных дождевой радуге, окружавших отверстие так же, как кольца в четвертом и следующих наблюдениях первой части этой второй книги, появлявшиеся между объективными стеклами, окружали черное пятно; но здесь кольца были шире и слабее. По мере того как эти кольца становились шире и шире, они делались размытыми и слабели, так что пятое было едва видно. Однако иногда, когда солнце светило очень ясно, появлялись слабые очерки шестого и седьмого колец. Если расстояние картона от зеркала было значительно больше или много меньше, чем шесть футов, кольца делались размытыми и исчезали. При расстоянии зеркала от окна, значительно большем шести футов, отраженный пучок света настолько расширялся на расстоянии шести футов от зеркала, там, где появлялись кольца, что затемнял одно или два внутренних кольца. Поэтому я помещал обыкновенно зеркало на расстоянии около шести футов от окна, так что фокус мог совпадать с центром вогнутости зеркала там, где появлялись кольца на картоне. Такое расположение подразумевается всегда в следующих наблюдениях там, где не указано другое.

Наблюдение 2. Цвета этих радуг следовали друг за другом от центра в той же форме и порядке, как у колец в девятом наблюдении первой части этой книги, получаемых не в отраженном свете, а в проходящем через два объективных стекла. Ибо, во-первых, в их общем центре было белое круглое пятно слабого света, иногда более широкое, чем отраженный пучок света;

этот пучок иногда падал на середину пятна, а иногда, при небольшом наклоне зеркала, отходил от середины и оставлял пятно белым до центра.

Это белое пятно было непосредственно окружено темносерым или красновато-бурым; темносерый окружался цветами первой радуги; вблизи темносерого эти цвета были слегка фиолетовым и индиго, затем шел синий, становившийся бледным наружу, затем следовал слегка зеленовато-желтый, после него — яркий желтый, и на внешнем краю радуги — красный, склонявшийся с внешней стороны к пурпуровому.

Эта радуга непосредственно окружала второй порядок цветов, который был изнутри наружу: пурпуровый, синий, зеленый, желтый, светлокрасный, красный, смешанный с пурпуровым.

Затем непосредственно следовали цвета третьей радуги, которые по порядку наружу были: зеленый, склонный к пурпуровому, хороший зеленый и красный, более яркий, чем у предыдущих радуг.

Четвертая и пятая радуги казались синевато-зелеными внутри и красными снаружи, но столь слабыми, что трудно было различить цвета.

Наблюдение 3. Измеряя диаметры этих колец на картоне тщательно, насколько мог, я нашел их в том же отношении друг к другу, как и у колец, создаваемых светом, проходящим через два объективных стекла. Ибо диаметры первых четырех ярких колец, измеренные между наиболее яркими частями их орбит на расстоянии шести футов от зеркала, были: $1^{11}/_{16}$, $2^{3}/_{8}$, $2^{11}/_{12}$, $3^{3}/_{8}$ дюйма, квадраты которых находятся в арифметической прогрессии чисел: 1, 2, 3, 4. Если считать белое круглое пятно в середине в числе колец и полагать его центральный свет там, где он кажется наиболее блестящим, равносильным бесконечно малому кольцу, то квадраты диаметров колец будут в прогрессии: 0, 1, 2, 3, 4 и т. д. Я измерил также диаметры темных кругов между светлыми и нашел, что квадраты их находятся в прогрессии чисел: $^{1}/_{2}$, $1^{1}/_{2}$, $2^{1}/_{2}$, $3^{1}/_{2}$ и т. д., так как диаметры первых четырех колец на расстоянии шести футов от зеркала были: $1^{3}/_{16}$,

$2^1/_{16}$, $2^2/_3$, $4^3/_{20}$ дюйма. Если расстояние картона от зеркала возрастало или уменьшалось, то диаметры кругов возрастали или уменьшались пропорционально.

Наблюдение 4. По аналогии между этими кольцами и описанными в наблюдениях первой части этой книги я заподозрил, что существовало еще много колец, которые распространялись одно в другое и, налагаясь, смешивали свои цвета и размывали друг друга так, что их нельзя было видеть в отдельности. Поэтому я посмотрел на них через призму, как делал это в 24-м наблюдении первой части этой книги. Когда призма была помещена таким образом, что, преломляя свет смешанных цветов колец, разделяла их и делала различимыми одно кольцо от другого, как и в указанном наблюдении, я мог видеть кольца отчетливее, чем раньше, и легко насчитывал их восемь или девять, а иногда двенадцать или тринадцать. Если бы свет их не был столь слабым, то я не сомневаюсь, что мог бы увидеть много больше.

Наблюдение 5. Поместив у окна призму так, что она преломляла пропускаемый пучок света и отбрасывала удлиненный спектр цветов на зеркало, я покрыл зеркало черной бумагой с отверстием в середине, через которое один из цветов мог проходить к зеркалу, остальные же задерживались бумагой. Я нашел тогда кольца только того цвета, который падал на зеркало. Если зеркало освещалось красным, кольца были полностью красные с темными интервалами; если синим — они были полностью синими, и так же по отношению к другим цветам. Когда они освещались каким-нибудь одним цветом, то квадраты их диаметров, измеренные между наиболее светлыми частями, были в арифметической прогрессии чисел: 0, 1, 2, 3, 4, квадраты же диаметров их темных интервалов — в прогрессии промежуточных чисел: $^1/_2$, $1^1/_2$, $2^1/_2$, $3^1/_2$. Но если цвет изменялся, то менялась и величина колец. В красном они были шире всего, в индиго и фиолетовом — наименьшими, в промежуточных цветах — желтом, зеленом и синем — они были различных промежуточных толщин соответственно цвету, т. е. больше в желтом, чем зеленом, и больше в зеленом, чем в синем.

Отсюда я убедился, что в том случае, когда зеркало освещалось белым светом, красный и желтый на внешней стороне колец производились наименее преломляемыми лучами, синий же и фиолетовый — наиболее преломляемыми и что цвета каждого кольца заходили в цвета соседних колец по обе стороны способом, объясненным в первой и второй частях этой книги; смешиваясь, они размывали друг друга так, что их нельзя было различить иначе, как поблизости от центра, где они смешивались меньше всего. Ибо в этом наблюдении я мог видеть кольца более отчетливо и в большем числе, чем прежде: я мог в желтом свете насчитать восемь или девять колец, не считая слабой тени десятого. Чтобы убедиться, насколько цвета различных колец заходят один в другой, я измерил диаметры второго и третьего колец в том случае, когда они создавались границей красного с оранжевым, и нашел, что они относились к диаметрам колец, создаваемых границей между синим и индиго, как 9 к 8 или около этого, ибо трудно было точно определить эту пропорцию. Круги, создаваемые последовательно красным, желтым и зеленым, отличались один от другого более, чем создаваемые последовательно зеленым, синим и индиго. Круг же, получавшийся от фиолетового, был слишком темен, чтобы его видеть. Чтобы сделать вычисление, предположим поэтому, что разности диаметров кругов, создаваемых крайним красным, границей красного и оранжевого, границей оранжевого и желтого, границей желтого и зеленого, границей зеленого и синего, границей синего и индиго, границей индиго и фиолетового и крайним фиолетовым, находятся в таком же отношении, как разности длин монохорда, звучащего тонами октавы: *соль, ля, фа, соль, ля, ми, фа, соль*, т. е. как числа $^1/_9$, $^1/_{18}$, $^1/_{12}$, $^1/_{12}$, $^2/_{27}$, $^1/_{27}$, $^1/_{18}$ [130]. Если диаметр круга, создаваемого границей красного и оранжевого, — $9A$, диаметр круга, создаваемого границей синего и индиго, — $8A$, как выше, то разность их $9A - 8A$ будет относиться к разности диаметров, создаваемых крайним красным и границей красного и оранжевого, как $^1/_{18} + ^1/_{12} + ^1/_{12} + ^2/_{27}$ относится к $^1/_9$, т. е. как $^8/_{27}$ к $^1/_9$, или как 8 к 3;

к разности же кругов, создаваемых крайним фиолетовым и границей синего и индиго, отношение будет, как у $^1/_{18}+^1/_{12}+^1/_{12}+^2/_{27}$ к $^1/_{27}+^1/_{18}$, то-есть как у $^8/_{27}$ к $^5/_{54}$ или как у 16 к 5. Поэтому эти разности будут $^3/_8 A$ и $^5/_{16} A$. Прибавляя первую разность к $9A$ и вычитая последнюю разность из $8A$, вы найдете диаметры кругов, создаваемых наименее и наиболее преломляемыми лучами, $^{75}/_8 A$ и $\frac{61^1/_2}{8} A$. Эти диаметры относятся, следовательно, друг к другу, как 75 к $61^1/_2$, или как 50 к 41, а их квадраты — как 2500 к 1681, т. е. весьма близко как 3 к 2. Эта пропорция мало отличается от отношения диаметров кругов, создаваемых крайним красным и крайним фиолетовым в 13-м наблюдении первой части этой книги.

Наблюдение 6. Поместив мой глаз там, где кольца казались полнее всего, я увидал, что зеркало повсюду окрашено волнами цветов (красным, желтым, зеленым, синим), подобными тем, которые появлялись между объективными стеклами и на водяных пузырях в наблюдениях первой части этой книги, но значительно шире. Как и те цвета, они были различной величины при разных положениях глаза, расширяясь и сжимаясь по мере того, как я двигал глаз туда и сюда. Как у тех цветов, так и здесь они имели форму, подобную дугам концентрических кругов, и когда мой глаз был над центром вогнутости зеркала (т. е. в 5 футах и 10 дюймах расстояния от зеркала), то их общий центр был на прямой линии с центром вогнутости и отверстием в окне. Но при других положениях моего глаза их центры были расположены иначе. Эти цвета появлялись при свете облаков, распространявшемся к зеркалу через отверстие в окне; когда же через отверстие светило солнце на зеркало, то свет его был окраски того кольца, на которое оно падало, но солнце своим блеском затемняло кольца, создаваемые светом облаков, если только зеркало не отодвигалось от окна на большое расстояние, так что свет солнца на нем расширялся и был слабым. При изменении положения моего глаза и передвижении его то ближе, то дальше от прямого пучка солнечного света цвет отраженного

солнечного света постоянно изменялся на зеркале, как и на моем глазу: один и тот же цвет всегда был виден наблюдателю, стоящему рядом, на моем глазу и мне на зеркале. Отсюда я заключил, что цветные кольца на картоне создавались этими отраженными цветами, распространявшимися под разными углами от зеркала, и что получение их не зависит от границы света и тени.

Наблюдение 7. По аналогии всех этих явлений с явлениями подобных же цветных колец, описанных в первой части этой книги, мне казалось, что эти цвета получаются при помощи толстой пластинки стекла способом, очень похожим на тот, которым они производились в весьма тонких пластинках. Ибо после пробы я нашел, что если ртуть была счищена с задней стороны зеркала, то одно стекло вызывало те же цветные кольца, но значительно более слабые, чем раньше: поэтому если явление зависит от ртути, то постольку, поскольку ртуть, увеличивая отражение задней стороны стекла, увеличивает свет цветных колец. Я нашел также, что металлическое зеркало без стекла, сделанное несколько лет назад для оптических нужд и очень хорошо сработанное, не производило таких колец: отсюда я понял, что эти кольца возникают не от одной зеркальной поверхности, но зависят от двух поверхностей пластинки стекла, из которой было сделано зеркало, и от толщины стекла между ними. Ибо так же, как в 7-м и 19-м наблюдениях первой части этой книги, тонкая пластинка воздуха, воды или стекла ровной толщины являлась в одном цвете, когда лучи были к ней перпендикулярны, а в другом — когда лучи были немного наклонны, в другом — при большем наклоне, в другом — при еще большем наклоне и так далее, — так же и здесь, в шестом наблюдении, свет, выходивший из стекла под разными наклонами, делал окраску стекла различной; распространяясь при этих наклонах к картону, свет вырисовывал кольца этих цветов. Причина того, что тонкая пластинка являлась в различных цветах при различных наклонах лучей, заключалась в том, что лучи одного и того же сорта отражались тонкой пластинкой при одном наклоне и пропускались при другом, лучи же

других сортов пропускались там, где первые отражались, и отражались там, где первые пропускались. Также и причина, почему толстая стеклянная пластинка, из которой было сделано зеркало, являлась в разных цветах при разных наклонах и распространяла при этих наклонах соответствующие лучи к картону, была в том, что лучи одного и того же сорта при одном наклоне выходили на стекла, при другом не выходили, но отражались назад к ртути от ближайшей поверхности стекла и, по мере наклона, все большее и большее число раз выходили и отражались попеременно во многих чередованиях, причем при том же наклоне лучи одного сорта отражались, а другие пропускались. Это явствует из пятого наблюдения этой части этой книги. Ибо в этом наблюдении, когда зеркало освещалось одним из призматических цветов, свет производил на картоне много колец того же цвета с темными интервалами и, следовательно, при своем выходе из зеркала попеременно пропускался и не пропускался из зеркала к картону во многих чередованиях соответственно различным наклонам при выходе. Когда цвет, падавший на зеркало через призму, менялся, то кольца становились той же окраски, как у падавшего света, и вместе с цветом меняли свою ширину; следовательно, свет попеременно пропускался и не пропускался от зеркала к картону при других наклонах, чем раньше. Мне казалось поэтому, что эти кольца были такого же происхождения, как у тонких пластинок, однако с той разницей, что кольца тонких пластинок производились при попеременных отражениях и пропусканиях лучей на второй поверхности пластинки после одного прохождения через нее, здесь же лучи дважды проходили через пластинку, прежде чем они попеременно отражались и пропускались. Во-первых, они проходили через нее от первой поверхности к ртути и затем возвращались через пластинку от ртути к первой поверхности, где либо проходили к картону, либо отражались обратно к ртути, соответственно тому, находились ли они в приступах легкого отражения или пропускания, когда приходили к этой поверхности. Интервалы приступов лучей,

перпендикулярно падающих на зеркало и отражающихся назад по тем же перпендикулярным линиям, сохраняют благодаря равенству этих углов и линий ту же длину и находятся в том же числе внутри стекла после отражения, как и раньше, по предложению 19-му третьей части этой книги. Так как все лучи, проходящие сквозь первую поверхность, находятся при входе в приступах легкого прохождения, и те лучи, которые отражаются второй поверхностью, находятся там в приступах легкого отражения, то при их возвращении к первой поверхности эти лучи должны быть снова в приступах легкого прохождения, и следовательно, они выходят из стекла к картону, образуя на нем белое пятно в центре колец. Это заключение справедливо для всех сортов лучей, и поэтому все сорта должны итти, смешиваясь, к пятну, образуя при смешивании белый. Но интервалы приступов тех лучей, которые отражаются более наклонно, чем входят, должны быть после отражения больше, чем прежде, по 15-му и 20-му предложениям. Отсюда может случиться, что лучи при их возвращении к первой поверхности могут при некоторых наклонах быть в приступах легкого отражения и возвращаются к ртути, при других же промежуточных наклонах они снова могут быть в приступах легкого прохождения и выходят к картону, вырисовывая на нем цветные кольца вокруг белого пятна. И так как интервалы приступов при равных наклонах больше и в меньшем числе для менее преломляемых лучей и меньше, но в большем числе для более преломляемых, то менее преломляемые лучи при равных наклонах дадут меньше колец, чем более преломляемые, но эти кольца будут шире, чем такое же число колец, создаваемых более преломляемыми лучами, то-есть красные кольца будут шире, чем желтые, желтые — больше, чем зеленые, зеленые — больше, чем синие, синие — больше, чем фиолетовые, как это в действительности было найдено в пятом наблюдении. Поэтому первое цветное кольцо, окружающее белое пятно света, станет красным снаружи, фиолетовым внутри и желтым, зеленым и синим в середине, как было найдено во втором наблю-

дении; цвета же во втором кольце и в следующих будут более расширены, заходят один в другой и, налагаясь, гасят друг друга.

Таковы, повидимому, в общем, основания этих колец; это привело меня к наблюдению толщины стекла и рассмотрению того, можно ли правильно вывести размеры и пропорции колец из этой толщины [131].

Наблюдение 8. Я измерил для этого толщину вогнуто-выпуклой пластинки стекла и нашел ее повсюду равной $^1/_4$ дюйма в точности. По шестому наблюдению первой части этой книги тонкая пластинка воздуха пропускает самый яркий свет первого кольца, то-есть ярко-желтый, в том случае, когда ее толщина $\frac{1}{89\,000}$ дюйма; по десятому наблюдению той же части тонкая стеклянная пластинка пропускает тот же свет того же кольца, когда толщина ее меньше в отношении синуса преломления к синусу падения, то-есть когда толщина ее $\frac{11}{1\,513\,000}$, или $\frac{1}{137\,545}$ дюйма, если предполагать, что синусы находятся в отношении 11 к 17. Если эту толщину удвоить, то пропускается тот же яркий свет второго кольца, если утроить — то третьего и так далее; яркий желтый свет во всех этих случаях находится в приступах прохождения. Поэтому если помножить эту толщину на 34 386 так, чтобы получить $^1/_4$ дюйма, то она пропустит тот же яркий свет 34 386-го кольца. Положим, что яркий желтый свет пропускается перпендикулярно от отражающей выпуклой стороны стекла через вогнутую сторону к белому пятну в центре цветных колец на картоне. По правилу в 7-м и 19-м наблюдениях в первой части этой книги и по 15-му и 20-му предложениям третьей части, если лучи наклонны к стеклу, то толщина стекла, потребная для пропускания одного и того же яркого света того же кольца при некотором наклоне, относится к толщине в $^1/_4$ дюйма, как секанс определённого угла к радиусу; синус этого угла есть первое из ста шести арифметических средних между синусами падения и преломления, если считать от синуса падения,

когда преломление происходит при переходе из некоторого пластинчатого тела в среду, его окружающую, то-есть в данном случае из стекла в воздух. Если, теперь, толщина стекла возрастает по степеням до своей первой величины (то-есть четверти дюйма) в отношениях, в которых 34 386 (число приступов перпендикулярных лучей при прохождении через стекло к белому пятну в центре колец) находится к 34 385, 34 384, 34 383 и 34 382 (числам приступов наклонных лучей при прохождении через стекло к первому, второму, третьему и четвертому кольцу), и если первая толщина разделена на 100 000 000 равных частей, то возрастающие толщины будут 100 002 908, 100 005 816, 100 008 725 и 100 011 633, углы же, секансами которых являются эти толщины, будут: 26 13″, 37′5″, 45′6″ и 52 26″, при радиусе, равном 100 000 000; синусы этих углов: 762, 1079, 1321, 1525 и пропорциональные синусы преломления: 1172, 1659, 2031 и 2345, при радиусе 100 000. Ибо синусы падения из стекла в воздух относятся к синусам преломления, как 11 к 17, к вышеуказанным же секансам, как 11 к первому из 106 арифметических средних между 11 и 17, то-есть как 11 к $11^6/_{106}$; поэтому эти секансы будут относиться к синусам преломления, как $11^6/_{106}$ к 17, и по аналогии с этим дадут указанные синусы. Если поэтому наклоны лучей к вогнутой поверхности стекла таковы, что синусы их преломления при прохождении из стекла через эту поверхность в воздух будут 1172, 1659, 2031, 2345, то яркий свет 34 386-го кольца будет выходить при толщинах стекла, относящихся к $^1/_4$ дюйма, как 34 386 к 34 385, 34 384, 34 383, 34 382 соответственно. Следовательно, если толщина во всех этих случаях $^1/_4$ дюйма (как в стекле, из которого сделано зеркало), то яркий свет 34 385-го кольца будет выходить там, где синус преломления 1172, яркий свет 34 384-го, 34 383-го и 34 382-го кольца — там, где синусы соответственно 1659, 2031 и 2345. Под этими углами преломления свет этих колец будет распространяться от зеркала к картону и здесь вырисует кольца вокруг белого центрального круглого пятна света, который, как мы говорим, есть свет 34 386-го кольца.

Радиусы этих колец будут стягивать углы преломления, производимого у вогнутой поверхности зеркала, и следовательно, их диаметры будут относиться к расстоянию картона от зеркала, как удвоенные синусы преломления относятся к радиусу, то-есть как удвоенные 1172, 1659, 2031 и 2345 относятся к 100 000. И поэтому, если расстояние картона от вогнутой поверхности зеркала шесть футов (как было в третьем из этих наблюдений), диаметры колец яркого желтого света на картоне будут 1,688, 2,389, 2,925, 3,375 дюйма, ибо эти диаметры относятся к шести футам, как вышеуказанные удвоенные синусы к радиусу. Диаметры ярких желтых колец, найденные таким вычислением, почти те же, которые были найдены в третьем из этих наблюдений при измерении их, то-есть $1^{11}/_{16}$, $2^{3}/_{8}$, $2^{11}/_{12}$ и $3^{3}/_{8}$ дюйма, и следовательно, теория вывода этих колец по толщине стеклянной пластинки, из которой сделано зеркало, и по наклону выходящих лучей согласуется с наблюдением[132]. В этом расчете я приравнял диаметры ярких колец, создаваемых светом всех цветов, диаметрам колец, создаваемых ярким желтым. Ибо этот желтый составляет самую яркую часть колец всех цветов. Если вы желаете знать диаметры колец от света какой-либо другой несмешанной окраски, вы можете просто найти их, полагая их в таком же отношении к диаметрам яркого желтого, в каком находятся квадратные корни интервалов приступов лучей этих цветов, когда они одинаково наклонены к преломляющей или отражающей поверхности, вызывающей эти приступы; нужно, следовательно, положить диаметры колец, создаваемых на концах и границах семи цветов — красного, оранжевого, желтого, зеленого, синего, индиго и фиолетового, — пропорциональными кубическим корням чисел: 1, $^{8}/_{9}$, $^{5}/_{6}$, $^{3}/_{4}$, $^{2}/_{3}$, $^{3}/_{5}$, $^{9}/_{16}$, $^{1}/_{2}$, выражающих длины монохорда, звучащего нотами октавы[133]. Ибо таким способом диаметры колец этих цветов найдутся весьма точно, в том же отношении один к другому, в каком они должны быть на основании пятого из этих наблюдений.

Итак, я удовлетворился тем, что эти кольца были того же рода и происхождения, как кольца тонких пластинок, и что, следовательно, приступы попеременных расположений лучей к отражению и пропусканию распространяются от каждой отражающей и преломляющей поверхности. Однако для того, чтобы освободить это от всякого сомнения, я прибавил следующее наблюдение.

Наблюдение 9. Если, таким образом, эти кольца зависят от толщины стеклянной пластинки, их диаметры на равных расстояниях от различных зеркал, сделанных из таких же вогнуто-выпуклых стеклянных пластинок, отшлифованных на той же сфере, должны быть обратно пропорциональными корню квадратному толщин стеклянных пластинок[134]. Если такая пропорция будет найдена верной на опыте, то это увеличит доказательность того, что эти кольца (подобно кольцам, образуемым в тонких пластинках) зависят от толщины стекла. Я поэтому достал другую вогнуто-выпуклую пластинку стекла, отшлифованную с обеих сторон по той же сфере, как и в прежней пластинке. Ее толщина была $^5/_{62}$ дюйма, и диаметры трех первых ярких колец, измеренные между наиболее яркими частями их орбат на расстоянии шести футов от стекла, были: 3, $4^1/_6$, $5^1/_8$ дюйма. Толщина др гого стекла в $^1/_4$ дюйма относилась к толщине этого стекла, как $^1/_4$ к $^5/_{62}$, то-есть как 31 к 10, или 310 000 000 к 100 000 000, корни этих чисел — 17 607 и 10 000; в отношении первого из этих корней ко второму находятся диаметры 3, $4^1/_6$, $5^1/_8$ ярких колец, создаваемых в этом опыте более тонким стеклом, к диаметрам $1^{11}/_{16}$, $2^3/_8$, $2^{11}/_{12}$ таких же колец в третьем из этих наблюдений, получаемых от более толстого стекла: следовательно, диаметры колец находятся в обратном отношении квадратных корней толщин стеклянных пластинок.

Таким образом в стеклянных пластинках, которые одинаково вогнуты с одной стороны и одинаково выпуклы с другой и также покрыты рт тью на выпуклых сторонах, отличаясь только своими толщинами, диаметры колец обратно пропорциональны толщинам пластинок. Это достаточно показывает, что кольца зависят от обеих

поверхностей стекла. Они зависят от выпуклой поверхности, так как становятся более светлыми, когда эта поверхность покрыта ртутью, чем в том случае, когда она без ртути. Они зависят также от вогнутой поверхности, ибо без нее зеркало их не производит. Они зависят от обеих поверхностей и от расстояния между ними, так как ширина колец изменяется только при изменении этого расстояния. Эта зависимость того же рода, в которой находятся цвета тонких пластинок от расстояния поверхностей этих пластинок, так как ширина колец и отношение их друг к другу, изменение их ширины, возникающее от толщины стекла, и порядок их цветов такие, каковыми они должны быть по предложениям в конце третьей части этой книги, выведенным из явлений цветов тонких пластинок, изложенных в первой части.

Существуют и другие явления этих цветных колец, вытекающие из тех же предложений и, следовательно, подтверждающие как справедливость этих предложений, так и аналогию между этими кольцами и цветными кольцами, получаемыми от очень тонких пластинок. Я присоединяю некоторые из них.

Наблюдение 10. Когда пучок солнечного света отражался назад от зеркала не прямо в отверстие в окне, но к месту, немного удаленному от отверстия, то общий центр пятна и всех цветных колец находился по середине между пучком падающего света и пучком отраженного света и, следовательно, в центре сферической вогнутости зеркала, если только картон, на который падали цветные кольца, помещался в этом центре. По мере того как пучок отраженного света при наклоне зеркала отступал все больше и больше от пучка падающего света и от общего центра цветных колец, эти кольца становились все шире и шире, также уширялось и белое круглое пятно, и последовательно выходили новые цветные кольца из общего центра, белое же пятно превращалось в белое кольцо, окружавшее центр; падающий и отраженный пучки света все время падали на противоположные части этого белого кольца, освещая его периметр подобно двум ложным солнцам на противолежащих

частях радуги. Таким образом диаметр этого кольца, измеренный от середины его света на одной стороне до середины его света на другой, был всегда равен расстоянию между серединой падающего пучка света и серединой отраженного пучка, измеренному на картоне, на котором появлялись эти кольца. Лучи, образовавшие это кольцо, отражались зеркалом под углами, равными их углам падения, а следовательно, их углам преломления при входе в стекло, однако их углы отражения не находились в той же плоскости, как их углы падения.

Наблюдение 11. Цвета новых колец были в обратном порядке, чем у прежних, и возникали следующим образом. Белое круглое пятно света в середине колец оставалось белым до центра, пока расстояние падающего и отраженного пучка на картоне было около $^1/_8$ дюйма, после этого оно начинало темнеть в середине. Когда же это расстояние было около $1^3/_{16}$ дюйма, то белое пятно становилось кольцом, окружавшим темное круглое пятно, которое посередине было склонно к фиолетовому и индиго. Светлые же кольца, окружавшие его, приравнялись к тем темным кольцам, которые окружали его в четырех первых наблюдениях, иначе говоря, белое пятно превратилось в белое кольцо, равное первому из этих темных колец, первое из светлых колец выросло до второго темного, второе светлое — до третьего темного и так далее. Ибо диаметры светлых колец стали теперь: $1^3/_{16}$, $2^1/_{16}$, $2^2/_3$, $3^3/_{20}$ и т. д. дюйма.

Когда расстояние между падающим и отраженным пучками света становилось немного больше, то из середины темного пятна выходил из индиго синий, из синего — бледнозеленый и вскоре после этого желтый и красный. Когда цвет в центре становился наиболее ярким, средним между желтым и красным, яркие кольца делались равными тем кольцам, которые в четырех первых наблюдениях непосредственно их окружали, то-есть белое пятно в середине этих колец становилось теперь белым кольцом, равным первому из прежних ярких колец, первое яркое кольцо становилось равным второму из прежних колец и т. д. Ибо диаметры белого кольца

и других светлых колец, его окружавших, были теперь: $1^{11}/_{16}$, $2^{3}/_{8}$, $2^{11}/_{12}$, $3^{3}/_{8}$ дюйма и т. д. или около этого.

Когда расстояние двух пучков света на картоне возрастало еще немного больше, то из середины появлялись по порядку: после красного пурпуровый, синий, зеленый, желтый и красный, сильно склонный к пурпуровому: когда цвет становился наиболее ярким, достигая промежуточной окраски между желтым и красным, прежние индиго, синий, зеленый, желтый и красный стали радугой или кольцом цветов, равным первому из тех светлых колец, которые появлялись в четырех первых наблюдениях; белое кольцо, которое стало теперь вторым из светлых колец, достигло второго прежнего кольца; первое светлое кольцо, которое стало теперь третьим, сделалось равным третьему из прежних колец и так далее. Ибо их диаметры стали: $1^{11}/_{16}$, $2^{3}/_{8}$, $2^{11}/_{12}$, $3^{3}/_{8}$ дюйма, причем расстояние двух пучков света и диаметр белого кольца были $2^{3}/_{8}$ дюйма.

Когда эти два пучка расходились еще больше, из середины пурпурово-красного возникало сначала темное круглое пятно и затем из середины этого последнего другое пятно, более яркое. Теперь прежние цвета (пурпуровый, синий, зеленый, желтый и пурпурово-красный) стали кольцом, равным первому из ярких колец, упоминавшихся в четырех первых наблюдениях, кольца же, расположенные вокруг этого кольца, сделались равными соответственно кольцам вокруг прежнего первого; расстояние между двумя пучками света и диаметром белого кольца (которое теперь стало третьим кольцом) было при этом около 3 дюймов.

Цвета колец в середине начали теперь становиться очень размытыми, и когда расстояние между двумя пучками было увеличено на половину дюйма или на дюйм, они исчезли, хотя белое кольцо с одним или двумя кольцами около него с каждой стороны продолжало быть видимым. Но если расстояние между двумя пучками света возрастало еще больше, они также исчезали; ибо свет, приходящий от различных частей отверстия в окне, падал на зеркало под различными углами падения и давал

кольца различных толщин, которые размывали и загрязняли одно другое, в чем я убедился, задерживая некоторую часть этого света. Ибо если я задерживал ту часть, которая была ближе всего к оси зеркала, кольца делались меньше; если я задерживал другую часть, наиболее удаленную от оси, они становились шире.

Наблюдение 12. Когда цвета призмы отбрасывались последовательно на зеркало, то кольцо, которое в двух последних наблюдениях было белым, имело одну и ту же ширину при всех цветах, кольца же, вне его лежащие, были шире в зеленом цвете, чем в синем, еще шире в желтом и всего шире в красном. Наоборот, кольца внутри белого круга были меньше в зеленом, чем в синем, еще меньше в желтом и всего меньше в красном. Ибо, благодаря тому, что углы отражения лучей, создающих это кольцо, равны их углам падения, приступы каждого отраженного луча внутри стекла после отражения равны по длине и числу приступам того же луча до его падения на отражающую поверхность. Поэтому, поскольку все лучи всех сортов при их входе в стекло находились в приступе прохождения, они были также в приступе прохождения при своем возвращении к той же поверхности после отражения; вследствие этого они пропускались и приходили к белому кольцу на картоне. В этом причина, почему кольцо было одной и той же толщины при всех цветах и почему при смешении всех цветов оно казалось белым. Но в лучах, отражающихся под другими углами, интервалы приступов наименее преломляемых лучей, являясь наибольшими, заставляют в наибольшей степени возрастать или уменьшаться кольца их цветов при продвижении от белого кольца внутрь или наружу; таким образом кольца этого цвета снаружи наибольшие, внутри — наименьшие. В этом же причина, почему в последнем наблюдении, когда зеркало освещалось белым светом, внешние кольца, создаваемые всеми цветами, казались красными снаружи и синими внутри, внутренние же — синими снаружи и красными внутри.

Таковы явления толстых выпукло-вогнутых стеклянных пластин, имеющих повсюду одинаковую толщину.

Иные явления, однако, происходят, когда эти пластинки немного толще на одной стороне, чем на другой, и другие — когда пластинки больше или меньше вогнуты, чем выпуклы, или плоско-выпуклы, или двояковыпуклы. Во всех этих случаях пластинки дают цветные кольца, но различным образом; при этом все, поскольку я наблюдал, согласуется с предложениями в конце третьей части этой книги и способствует, таким образом, подтверждению этих предложений. Однако явления слишком разнообразны, и вычисления, при помощи которых они следуют из этих предложений, слишком запутаны, чтобы приводить их здесь. Я ограничиваюсь при изложении этого рода явлений открытием их причины; обнаружив ее, я подтверждаю предложения третьей части этой книги[125].

Наблюдение 13. Так же, как свет, отражаемый линзой, покрытой ртутью с задней стороны, создает кольца цветов, описанные выше, — точно так же он должен производить подобные же цветные кольца при прохождении через каплю воды. При первом отражении лучей внутри капли некоторые цвета должны пропускаться, как в случае линзы, другие же отражаться назад, к глазу. Например, если диаметр малой капли или шарика воды около 500-й части дюйма, то луч, создающий красный цвет, при прохождении через середину шарика имеет 250 приступов легкого прохождения внутри шарика; все же лучи, создающие красный, которые находятся на определенном расстоянии от среднего луча вокруг него, имеют 249 приступов внутри шарика, все такие же лучи на некотором более удаленном расстоянии от среднего имеют 248 приступов, еще на большем — 247 приступов и так далее; эти концентрические круги лучей после их прохождения, падая на белую бумагу, дадут концентрические красные кольца на бумаге, если предположить, что свет, проходящий через один единственный шарик, достаточно силен для того, чтобы быть ощутимым. Подобным же образом лучи других цветов дадут кольца иных окрасок. Предположим теперь, что в ясный день солнце светит через тонкое облако таких шариков воды или града и что все шарики одинаковой толщины; солнце,

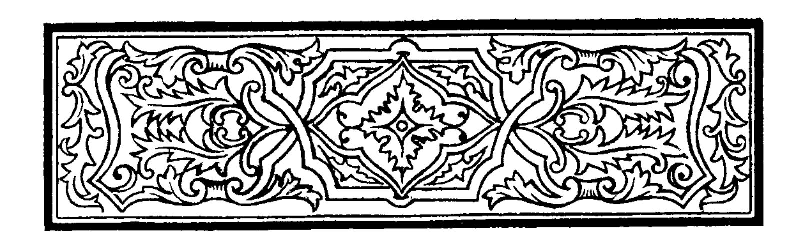
видимое через это облако, будет казаться окруженным подобными же концентрическими цветными кольцами; диаметр первого красного кольца будет $7^1/_4$ градусов, второго — $10^1/_4$ градусов, третьего — 12 градусов 33 минуты. Соответственно тому, больше или меньше шарики воды, кольца будут меньше или больше. Такова теория, и опыт ей соответствует. Так, в июне 1692 года[136] я видел при помощи отражения в сосуде со стоячей водой три сияния, короны, или цветных кольца вокруг солнца, подобные трем маленьким радугам, концентричным этому телу. Цвета первой, или самой внутренней, короны были: синий ближе к солнцу, красный снаружи и белый между синим и красным. Цвета второй короны были: пурпуровый и синий внутри, беднокрасный снаружи и зеленый в середине. Цвета третьей были бледносиними внутри и беднокрасными снаружи; эти короны окружали непосредственно одна другую, так что их цвета простирались в таком непрерывном порядке от солнца наружу: синий, белый, красный; пурпуровый, синий, зеленый, бледножелтый и красный; бледносиний, бледнокрасный. Диаметр второй короны, измеренный от середины между желтым и красным по одной стороне солнца до середины между теми же цветами по другой стороне, был $9^1/_3$ градуса или около этого. Я не имел времени измерить диаметры первой и третьей короны, но, повидимому, диаметр первой был около пяти или шести градусов, диаметр третьей — около двенадцати. Подобные же короны появляются иногда около луны; так, в начале 1664 года, 19 февраля ночью, я видел две таких короны вокруг луны. Диаметр первой, или внутренней, был около трех градусов, диаметр второй — около пяти градусов с половиной. Вблизи луны был белый круг, а около него внутренняя корона, которая была синевато-зеленой внутри, около белого, и желтой и красной снаружи; около этих цветов были синий и зеленый с внутренней стороны внешней короны и красный с внешней стороны. В то же время появилось сияние на расстоянии около 22 градусов 35′ от центра луны. Оно было эллиптическим, и его больший диаметр был перпендикулярен к горизонту,

а нижняя часть далее всего от луны. Мне рассказывали, что иногда луна имеет три или более концентрических цветных короны, окружающих одна другую поблизости от ее тела. Чем равнее между собою шарики воды или льда, тем больше будет появляться цветных корон, и тем живее будут цвета. Сияние на расстоянии $22^1/_2$ градусов от луны — другого рода. По его овальности и большей удаленности от луны снизу, чем сверху, я заключаю, что оно получилось благодаря преломлению в некоторых сортах града или снега, плавающих в воздухе в горизонтальном положении с преломляющим углом около 58 или 60 градусов.





Книга третья ОПТИКИ



ЧАСТЬ I.

Наблюдения, касающиеся изгибаний[137] лучей света и цветов, получающихся при этом.



римальдо[138] ознакомил нас с тем, что если пучок солнечного света впускается в темную комнату через очень малое отверстие, то тени предметов в этом свете будут больше, чем они должны быть, если бы лучи проходили около тел по прямым линиям; эти тени имеют три параллельных каймы, полосы или линии окрашенного света, примыкающие к ним. Если, однако, отверстие расширить, полосы становятся широкими и заходят одна за другую так, что их нельзя различить. Некоторые приписывали эти широкие тени и каемки обыкновенному преломлению воздуха, но без должного исследования дела. Ибо, поскольку я наблюдал, обстоятельства явления следующие.

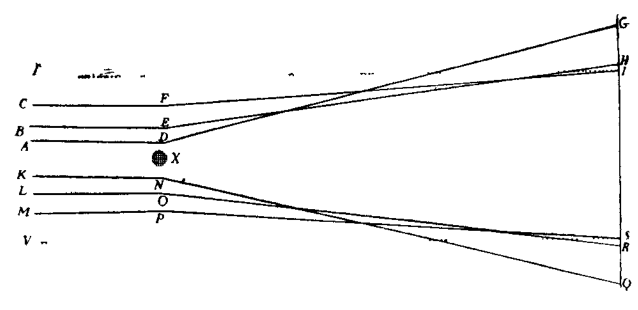
Наблюдение 1. В куске свинца я сделал иглой малое отверстие, ширина которого была 42-й частью дюйма. Ибо если сложить рядом 21 такую иглу, они занимают ширину половины дюйма. Через это отверстие я впускал

в мою затемненную комнату пучок солнечного света и нашел, что тени волос, ниток, иголок, соломинок и тому подобных тонких предметов, помещаемых в такой пучок света, были значительно шире, чем они должны быть, если бы лучи света проходили около этих тел по прямым линиям. В частности, когда на этом свету помещался волос с человеческой головы шириною только в 280-ю часть дюйма на расстоянии около двенадцати футов от отверстия, то он отбрасывал тень, которая на расстоянии четырех дюймов от волоса была одной шестидесятой частью дюйма, то-есть приблизительно в четыре раза шире волоса; на расстоянии двух футов от волоса тень была около одной двадцативосьмой дюйма ширины, то-есть в десять раз шире волоса; на расстоянии же десяти футов тень была шириною в одну восьмую дюйма, то-есть в 35 раз шире.

Не существенно, окружен ли волос воздухом или какой-либо иной прозрачной субстанцией. Ибо я смачивал полированную стеклянную пластинку и помещал волос в воду на стекле, накладывая затем на него другую полированную стеклянную пластинку, так что вода могла заполнять пространство между стеклами; я держал стекла в вышеуказанном пучке света так, что свет проходил через них перпендикулярно; при этом тень волоса на том же расстоянии была той же ширины, как и прежде. Тени царапин на полированных стеклянных пластинках были также значительно шире, чем они должны быть; жилки в полированных стеклянных пластинках также отбрасывали подобные широкие тени. Поэтому значительная ширина этих теней происходит от некоторой другой причины, а не от преломления в воздухе.

Пусть круг X (фиг. 54) представляет середину волоса; ADG, BEH, CFI — три луча, проходящих по одной стороне волоса на различных расстояниях: KNQ, LOR, MPS — три других луча, проходящих по другой стороне волоса на таких же расстояниях; D, E, F и N, O, P — те места, в которых лучи изгибаются при их прохождении около волоса; G, H, I и Q, R, S — места, где лучи падают на бумагу GQ; IS — ширина тени во-

лоса, отбрасываемая на бумагу, TI, VS — два луча, проходящие к точкам I и S без изгибания, когда волос убран. Ясно, что весь свет между этими двумя лучами TI и VS изгибается при прохождении около волоса и направляется в сторону от тени IS, так как если бы какая-нибудь часть этого света была не изогнута, она упала бы на бумагу внутри тени и осветила бы там

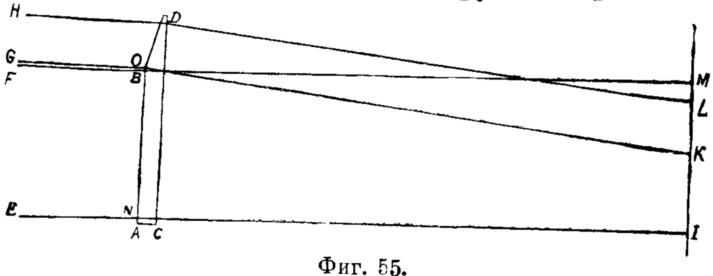


Фиг. 54.

бумагу, в противоречии с опытом. И так как тень широкая, когда бумага находится на большом расстоянии от волоса, и следовательно, лучи TI и VS находятся на большом расстоянии один от другого, то, следовательно, волос действует на лучи света на довольно большом расстоянии, когда они проходят около него. Но действие сильнее всего на лучи, проходящие на наименьших расстояниях, и становится все слабее и слабее, по мере того как лучи проходят на бóльших расстояниях, как это представлено на схеме; ибо в этом причина того, что тень волоса становится значительно шире в отношении к расстоянию бумаги от волоса в том случае, когда бумага ближе к волосу, чем когда она на большом расстоянии от него [139].

Наблюдение 2. Тени всех тел (металлов, камней, стекла, дерева, рога, льда и т. д.) в этом свете были ограничены тремя параллельными каемками или полосами окрашенного света, причем каемка, примыкающая к тени, была шире всех и наиболее светлая, самая же

удаленная от тени была наиболее узкой и столь слабой, что ее нелегко было видеть. Трудно было различить цвета, если свет не падал очень отлого на гладкую бумагу или какое-нибудь гладкое белое тело, благодаря чему цвета становились много шире, чем в других случаях. Тогда цвета были полностью видны в таком порядке: первая, или внутренняя, кайма была фиолетовой и глубоко синей около тени, затем светлосиней, зеленой и желтой посередине и красной снаружи. Вторая кайма



Фиг. 55.

почти прикасалась к первой, а третья — ко второй; обе были синими внутри и желтыми и красными снаружи, но цвета их были очень слабы, особенно третьей. Следовательно, цвета шли от тени в таком порядке: фиолетовый, индиго, бледносиний, зеленый, желтый, красный: синий, желтый, красный, бледносиний, бледножелтый и красный. Тени, даваемые царапинами и пузырьками в полированных стеклянных пластинках, были ограничены подобными же каемками окрашенного света. Если держать в том же пучке света пластинки зеркального стекла, имеющие по краям наклонный граненый срез, то свет, проходящий через параллельные плоскости стекла, будет ограничен подобными же цветными каймами там, где эти плоскости встречаются с граненым срезом, — таким способом появляются иногда четыре или пять цветных каемок. Пусть AB, CD (фиг. 55) представляют параллельные плоскости зеркала, BD — плоскость граненого среза, составляющего в B очень тупой угол с плоскостью AB; пусть весь свет между лучами ENI и

FBM проходит прямо через параллельные плоскости стекла и падает на бумагу между *I* и *M*, весь же свет между лучами *GO* и *HD* преломляется наклонной плоскостью граненого среза *BD* и падает на бумагу между *K* и *L*; свет, прямо проходящий через параллельные плоскости стекла и падающий на бумагу между *I* и *M*, будет ограничен тремя или бо́льшим числом каемок около *M*.

Так же, если смотреть на солнце сквозь перо или черную ленту, держа ее около глаза, появится несколько радуг; тени, отбрасываемые волокнами и нитями на *Tunica Retina*, ограничены такими же цветными каемками.

Наблюдение 3. Когда волос находился на двенадцати футах расстояния от отверстия и тень его падала наклонно на плоскую белую шкалу, разделенную на дюймы и на части дюйма и помещенную на половине фута за волосом, я измерил ширину тени и каемок тщательно, насколько мог, и нашел для них, в частях дюйма, величины, указанные в таблице.

Я получил эти меры, заставляя тень волоса падать на шкалу на расстоянии в половину фута столь наклонно, что тень была в двенадцать раз шире, чем при перпендикулярном падении на том же расстоянии; в таблицу помещены двенадцатые части мер, которые я получил.

Наблюдение 4. Когда тень и каемки падали наклонно на гладкое белое тело и тело это отодвигалось все дальше и дальше от волоса, то первая каемка начинала становиться ярче остального света на расстоянии менее четверти дюйма от волоса, черная же линия, или тень, между первой и второй каймой появлялась на расстоянии от волоса, меньшем третьей части дюйма. Вторая каемка начинала появляться на расстоянии, меньшем половины дюйма от волоса, и тень между нею и третьей каемкой — на расстоянии, меньшем дюйма; третья каемка начинала появляться на расстоянии, меньшем трех дюймов. На бо́льших расстояниях они делались заметнее, но сохраняли почти то же отношение толщин и

На расстоянии	половины фута	девяти футов
Ширина тени	$\frac{1}{54}$	$\frac{1}{9}$
Ширина между серединами наиболее яркого света внутренних каемок по обе стороны тени	$\frac{1}{38}$ или $\frac{1}{39}$	$\frac{7}{50}$
Ширина между серединами наиболее яркого света средних каемок по обе стороны тени	$\frac{1}{23^1/_2}$	$\frac{4}{17}$
Ширина между серединами наиболее яркого света крайних каемок по обе стороны тени	$\frac{1}{18}$ или $\frac{1}{18^1/_2}$	$\frac{3}{10}$
Расстояние между серединами наиболее яркого света первой и второй каемки	$\frac{1}{120}$	$\frac{1}{21}$
Расстояние между серединами наиболее яркого света второй и третьей каемки	$\frac{1}{170}$	$\frac{1}{31}$
Ширина светлой части (зеленой, белой, желтой и красной) первой каемки	$\frac{1}{170}$	$\frac{1}{32}$
Ширина темного пространства между первой и второй каемками . .	$\frac{1}{240}$	$\frac{1}{45}$
Ширина светлой части второй каемки	$\frac{1}{290}$	$\frac{1}{55}$
Ширина темного пространства между второй и третьей каемками . .	$\frac{1}{340}$	$\frac{1}{63}$

интервалов, которое они имели при их первом появлении. Расстояние между серединой первой и серединой второй каемки относилось к расстоянию между серединой второй и серединой третьей каемки, как три к двум или десять к семи. Последнее же из этих двух расстояний было равно ширине яркого света светлой части первой каемки. Эта ширина относилась к ширине яркого света второй каемки, как семь к четырем, и к темному интервалу между первой и второй каемкой — как три к двум, к такому же темному интервалу между второй и третьей каемкой — как два к одному. Ибо толщины каемок находятся, повидимому, в прогрессии чисел: 1, $\sqrt{\frac{1}{3}}$, $\sqrt{\frac{1}{5}}$, интервалы же между ними — в одинаковой прогрессии с ними, то-есть каемки и их интервалы вместе составляют непрерывную прогрессию чисел: 1, $\sqrt{\frac{1}{2}}$, $\sqrt{\frac{1}{3}}$, $\sqrt{\frac{1}{4}}$, $\sqrt{\frac{1}{5}}$ или около этого. Эти отношения остаются почти теми же при всех расстояниях от волоса: темные интервалы каемок столь же широки в отношении к ширине каемок при их первом появлении, как и после этого на больших расстояниях от волоса, хотя не столь темны и отчетливы.

Наблюдение 5. Когда солнце светило внутрь моей затемненной комнаты через отверстие в четверть дюйма шириною, я поместил на расстоянии двух или трех футов от отверстия полосу картона, зачерненного с обеих сторон и имевшего в середине отверстие около трех четвертей дюйма в квадрате для света, проходившего насквозь. За этим отверстием я прикрепил к картону смолой лезвие острого ножа, чтобы задержать некоторую часть света, проходившего через отверстие. Плоскости картона и лезвия ножа были параллельны одна другой и перпендикулярны к лучам. Расположив их так, что солнечный свет не падал на картон, но весь проходил через отверстие к ножу и здесь часть его падала на лезвие ножа, а часть проходила около его ребра, я заставил эту часть света, проходившую около, падать на белую бумагу в двух или трех футах за ножом и увидал

здесь два потока слабого света, выбрасываемых двумя путями из светового пучка в тень, подобно кометным хвостам. Но прямой солнечный свет, благодаря своей яркости на бумаге, затемнял эти слабые потоки, так что я едва мог их видеть; я сделал поэтому маленькое отверстие в середине бумаги, чтобы прямой свет проходил через него и падал на черную ткань сзади; тогда я увидал два потока полностью. Они были похожи один на другой и почти одинаковы по длине, ширине и количеству света. Свет их на конце, ближайшем к прямому солнечному свету, был очень сильным на пространстве около четверти или половины дюйма и по мере удаления от прямого света постепенно убывал, пока не становился незаметным. Полная длина каждого из этих потоков, измеренная на бумаге в расстоянии трех футов от ножа, была около шести или восьми дюймов, так что они стягивали угол от края ножа около 10 или 12 или, самое большее, 14 градусов. Однако иногда мне казалось, что я видел их простирающимися на три или четыре градуса дальше, но с таким слабым светом, что я едва мог их заметить и заподозрил, что может быть (до некоторой степени, по крайней мере) свет возникает от других причин, но не от двух потоков. Ибо, помещая мой глаз в этот свет за концом указанного потока позади ножа и смотря по направлению к ножу, я мог видеть линию света на ребре ножа, и не только когда мой глаз был на линии потоков, но также когда он был и вне этой линии, со стороны острия ножа или ручки. Эта линия света являлась соприкасающейся с ребром ножа и была ýже, чем свет внутренней каймы; ýже всего она была, когда мой глаз был дальше всего от прямого света; она казалась поэтому проходящей между светом этой каймы и ребром ножа; свет, проходивший ближе всего от ребра, казался наиболее изгибающимся, хотя и не весь.

Наблюдение 6. Я поместил другой нож рядом с первым так, чтобы их ребра могли быть параллельными и были направлены одно к другому; пучок света мог падать на оба ножа, и некоторая часть его проходила

между их ребрами. Когда расстояние между ребрами было около 400-й части дюйма, поток разделялся посередине и оставлял тень между двумя частями. Эта тень была настолько черной и темной, что весь свет, проходивший между ножами, казалось, загибался и направлялся в ту и другую сторону. При дальнейшем приближении ножей одного к другому тень становилась шире, потоки же делались короче на их внутренних краях, которые были ближе к тени, пока при соприкосновении ножей весь свет не исчезал, уступая свое место тени.

Отсюда я заключаю, что свет, который загибается менее всего и идет к внутренним концам потоков, проходит мимо ребер ножей на наибольшем расстоянии; когда тень начинает появляться между потоками, это расстояние около 800-й части дюйма. Свет, проходящий мимо ребер ножей на расстояниях все меньших и меньших, изгибается больше и больше, проходя к тем частям потоков, которые все дальше расположены от прямого света, потому что когда ножи приближаются один к другому до соприкосновения, то последними исчезают те части потоков, которые дальше всего от прямого света.

Наблюдение 7. В пятом наблюдении каемки не появлялись: благодаря ширине отверстия в окне они становились столь широкими, что заходили одна в другую и, соединяясь, давали непрерывный свет в начале потоков. Но в шестом наблюдении, когда ножи приближались друг к другу настолько, что при дальнейшем сближении между двумя потоками появлялась тень, каемки начинали появляться на внутренних концах потоков по обе стороны от прямого света — три по одну сторону от ребра одного ножа, три по другую — от ребра другого ножа. Отчетливее всего они были, когда ножи помещались на наибольшем расстоянии от отверстия в окне, и отчетливость их увеличивалась при уменьшении отверстия так, что иногда я мог видеть слабый очерк четвертой каемки, кроме трех указанных выше. По мере непрерывного сближения ножей каемки делались

отчетливее и шире, пока они не исчезали. Первой исчезала крайняя кайма, следующей — средняя и последней — крайняя. После того как все они исчезали и линия света между ними делалась очень широкой, расширяясь с обеих сторон к потокам света, описанным в пятом наблюдении, вышеуказанная тень начинала появляться посередине этой линии, разделяя ее вдоль посередине на две линии света и разрастаясь до тех пор, пока весь свет не исчезал. Это уширение каемок было столь значительным, что лучи, проходившие к внутренней каемке в том случае, когда эта каемка почти исчезала, казались изогнутыми в двадцать раз больше, чем когда один из ножей убирался.

Сравнивая это и предыдущее наблюдение, я заключаю, что свет первой каемки проходил около ребра ножа на расстоянии, большем чем 800-я часть дюйма, свет второй каемки проходил около ребра ножа на большем расстоянии, чем свет первой каемки, свет третьей — на большем расстоянии, чем второй, и что свет потоков, описанных в пятом и шестом наблюдениях, проходил около ребер ножей на расстоянии, меньшем, чем у какой-либо из каемок.

Наблюдение 8. Я заставил отточить ребра двух ножей, чтобы они были правильными прямыми; воткнув их остриями в доску так, что ребра были обернуты одно к другому и встречались около острий, образуя прямолинейный угол, я закрепил ручки ножей вместе смолой, чтобы этот угол оставался неизменным. Расстояние ребер ножей друг от друга на расстоянии четырех дюймов от угловой точки, где ребра встречались, было восьмой частью дюйма, и следовательно, угол, заключаемый ребрами, был около 1 градуса 54′. Закрепив ножи таким образом вместе, я помещал их в пучок солнечного света, впускаемый в мою затемненную комнату через отверстие шириною в 42-ю часть дюйма на расстоянии 10 или 15 футов от отверстия; свет, проходивший между ребрами, я заставлял падать очень отлого на гладкую белую линейку на расстоянии половины дюйма или одного дюйма от ножей; я видел, что каемки, создаваемые здесь двумя

ребрами ножей, проходили вдоль краев тени ножей по линиям, параллельным этим краям, причем они не уширялись заметным образом до встречи под углами, равными углу, заключаемому ребрами ножей; там, где они встречались и соединялись, они не пересекали друг друга. Но если линейка помещалась от ножей на значительно большем расстоянии, то каемки там, где они были далеко от места встречи, были немного у́же и становились несколько шире по мере того, как они все ближе и ближе приближались одна к другой, после же встречи они пересекали одна другую, становясь значительно шире, чем раньше.

Отсюда я заключаю, что расстояния, на которых каемки проходят около ножей, не увеличиваются и не изменяются приближением ножей, но углы, на которые лучи там изгибаются, значительно возрастают при сближении ножей; нож, ближайший к лучу, определяет, по какому пути изогнется луч, другой нож увеличивает изгиб.

Наблюдение 9. Когда лучи падали очень отлого на линейку на расстоянии трети дюйма от ножей, то темная линия между первой и второй каймой тени одного ножа и темная линия между первой и второй каймой тени другого ножа встречались друг с другом на расстоянии пятой части дюйма от конца света, проходившего между ножами при встрече их ребер. Поэтому расстояние ребер ножей там, где встречались эти темные линии, было 160-й частью дюйма. Ибо так же, как относится четыре дюйма к восьмой части дюйма, в том же отношении находится некоторая длина ребер ножей, измеренная от точки их встречи, к расстоянию между ножами при конце этой длины, то-есть как пятая часть дюйма к 160-й части. Таким образом вышеупомянутые темные линии встречаются в середине света, проходящего между ножами там, где они удалены друг от друга на 160-ю часть дюйма; одна половина этого света проходит мимо ребра одного ножа на расстоянии, не большем чем 320-я часть дюйма, и, падая на бумагу, создает каемки тени этого ножа, другая же половина

проходит мимо ребра другого ножа на расстоянии, не большем 320-й части дюйма, и, падая на бумагу, создает каемки тени другого ножа. Но если бумага помещалась от ножей на расстоянии, большем трети дюйма, то вышеуказанные темные линии встречались на расстоянии, большем чем пятая часть дюйма от конца света, проходившего между ножами при встрече их ребер; поэтому свет, падавший на бумагу при встрече этих темных линий, проходит между ножами там, где их ребра удалены на расстояние, большее 160-й части дюйма.

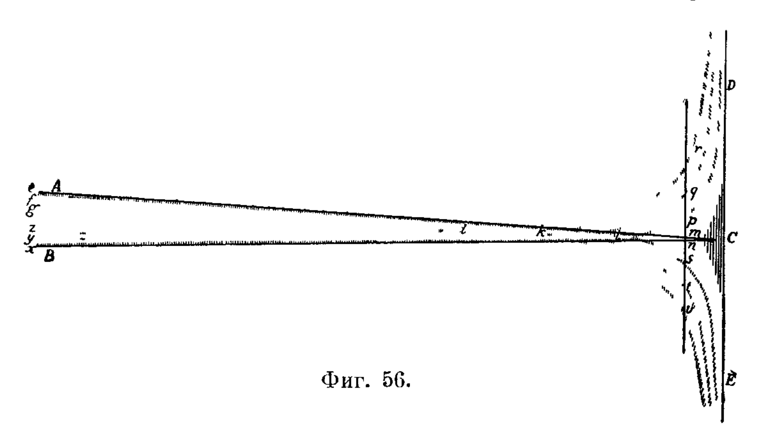
Ибо в другой раз, когда два ножа были на расстоянии восьми футов и пяти дюймов от малого отверстия в окне, проделанного, как и раньше, иглою, то свет, который падал на бумагу в том месте, где встречаются ранее указанные темные линии, проходил между ножами там, где расстояние между их ребрами было таково, как указано в следующей таблице, в которой дано и расстояние бумаги от ножей:

Расстояние бумаги от ножей в дюймах	Расстояние между ребрами ножей в долях дюйма
$1\frac{1}{2}$	0'012
$3\frac{1}{3}$	0'020
$8\frac{3}{5}$	0'034
32	0'057
96	0'081
131	0'087

Отсюда я заключаю, что свет, создающий каемки на бумаге, не один и тот же на всех расстояниях бумаги от ножей; когда бумага помещена вблизи ножей, каемки получаются от света, проходящего около ребер ножей на малом расстоянии и более изгибаемого, чем свет, получающийся на бумаге, помещенной на большем расстоянии от ножей.

Наблюдение 10. Когда каемки теней ножей падали перпендикулярно на бумагу на большом расстоянии от

ножей, они имели форму гипербол, и размеры их были следующими. Пусть *CA*, *CB* (фиг. 56) представляют линии, проведенные на бумаге параллельно ребрам ножей, между которыми падал бы весь свет, если бы он проходил между ребрами ножей без изгибания; *DE* — прямая линия, проведенная через *C* и образующая углы



Фиг. 56.

ACD, *BCE*, равные друг другу, и ограничивающая весь свет, который падает на бумагу из той точки, где ребра ножей встречаются; *eis*, *fkt* и *glv* — три гиперболические линии, представляющие границу тени одного из ножей, темную линию между первой и второй каемками этой тени и темную линию между второй и третьей каймой той же тени; *xip*, *ykq* и *zlr* — три другие гиперболические линии, представляющие границу тени другого ножа, темную линию между первой и второй каймой этой тени и темную линию между второй и третьей каемками той же тени. Можно видеть, что эти три гиперболы подобны и равны трем предыдущим и пересекают их в точках *i*, *k* и *l* и что тени ножей ограничиваются и отделяются от первых светлых каемок линиями *eis* и *xip* до встречи и пересечения этих каемок, затем эти линии пересекают каемки в форме темных линий, ограничивающих первые светлые каемки с внутренней

стороны, и отделяют их от другого света, который начинает появляться при i и освещает все трехугольное пространство $ipDEs$, составляемое этими темными линиями и прямой линией DE. Одна асимптота этих гипербол — линия DE, остальные асимптоты параллельны линиям CA и CB. Пусть rv представляет линию, проведенную где-нибудь на бумаге параллельно линии DE, и пусть эта линия пересекает прямые линии AC в m и BC в n, шесть же темных гиперболических линий пересекаются в p, q, r, s, t, v; измеряя расстояния ps, qt, rv, вычисляя отсюда длины ординат np, nq, nr или ms, mt, mv и производя это на различных расстояниях линии rv от асимптоты DE, вы можете найти сколько угодно точек этих гипербол, откуда можно убедиться, что эти кривые линии — гиперболы, немного отличающиеся от конических гипербол. Измеряя линии Ci, Ck, Cl, вы можете найти другие точки этих кривых.

Например, когда ножи находились от отверстия в окне на расстоянии десяти футов, а бумага помещалась в девяти футах от ножей, и угол, образованный ребрами ножей, которому равен угол ACB, стягивался хордой, относившейся к радиусу, как 1 к 32, расстояние же линии rv от асимптоты DE было половина дюйма, я измерил линию ps, qt, rv и нашел их соответственно 0'3, 0'65, 0'98 дюйма; складывая с половинами их линию $\frac{1}{2}mn$ (которая была здесь 128-й частью дюйма, или 0'0078 дюйма), я нашел, что суммы np, nq, nr были 0'1828, 0'3328, 0'4978 дюйма. Я измерил также расстояния наиболее ярких частей каемок, проходивших между pq и st, qr и tv и вблизи r и v, и нашел, что они равны 0'5, 0'8 и 1'17 дюйма[140].

Наблюдение 11. Когда солнце светило внутрь моей затемненной комнаты через малое круглое отверстие, сделанное тонкой иглой в свинцовой пластинке, как и выше, я поместил у отверстия призму, преломлявшую свет и образовавшую на противоположной стене спектр цветов, описанный в третьем опыте первой книги; я нашел тогда, что тени всех тел, помещаемых в окра-

шенный цвет между призмой и стеной, были ограничены каймами того цвета, в котором помещалось тело. В полном красном свету они были совершенно красными без какого-либо ощутимого синего или фиолетового, в глубоком синем свете они были совершенно синими без какого-либо заметного красного или желтого; точно так же в зеленом свете они были полностью зелеными, за исключением небольшого желтого и синего, примешанных к зеленому свету призмы. Сравнивая каемки, получаемые в различно окрашенном свете, я нашел, что каемки в красном свете были всего шире, в фиолетовом всего меньше, каемки же, получаемые в зеленом, были средней толщины. Каемки, окружавшие тень человеческого волоса, измерялись поперек тени на расстоянии шести дюймов от волоса; расстояние между средней и наиболее светлой частью первой, или внутренней, каймы по одну сторону тени и такой же частью подобной каймы по другую сторону тени было в полном красном свете $\frac{1}{37\,{}^1/_2}$ дюйма, в полном же фиолетовом — $\frac{1}{46}$. Такое же расстояние между средними и наиболее светлыми частями вторых каемок по обе стороны тени было в полном красном свете $\frac{1}{22}$, в фиолетовом — $\frac{1}{27}$ дюйма. Эти расстояния между каемками сохраняли то же отношение на всех расстояниях от волоса без всякого заметного изменения.

Таким образом лучи, дающие такие каемки в красном свете, проходили около волоса на большем расстоянии, чем лучи, дающие подобные каемки в фиолетовом; поэтому волос, вызывая эти каемки, одинаково действовал на красный свет, или менее преломляемые лучи, на большем расстоянии и на фиолетовые, или наиболее преломляемые лучи, — на меньшем расстоянии и при помощи таких действий расположил красный свет в более широкие каемки, а фиолетовый в меньшие, свет же промежуточных цветов — в каемки промежу-

точной толщины, не изменяя при этом окраски ни одного сорта света.

Когда поэтому в первом и втором из этих наблюдений волос помещался в белый пучок солнечного света и отбрасывал тень, окруженную тремя каемками окрашенного света, то эти цвета происходили не от каких-либо новых модификаций, производимых в лучах света волосом, но только от различных изгибаний, при помощи которых различные сорта лучей отделялись один от другого; эти лучи до разделения, вследствие смешения всех их цветов, составляли белый пучок солнечного света, при разделении же составляли свет различных цветов, к проявлению которых они изначально расположены. В этом 11-м наблюдении, где цвета разделяются прежде, чем свет пройдет мимо волоса, наименее преломляемые лучи, которые, отделяясь от остальных, давали красный, отгибались на большем расстоянии от волоса, создавая три красных каемки на большем расстоянии от середины тени волоса; наиболее же преломляемые лучи, дававшие при разделении фиолетовый, отгибались от волоса на меньшем расстоянии, производя три фиолетовых каемки на меньшем расстоянии от середины тени волоса. Другие лучи промежуточных степеней преломляемости отгибались на промежуточных расстояниях от волоса, производя каемки промежуточных цветов на промежуточных расстояниях от середины тени волоса. Во втором наблюдении, где все цвета смешаны в белый свет, проходящий около волоса, эти цвета разделяются вследствие различного изгибания лучей, и каемки, которые они производят, появляются все вместе, причем внутренние каемки, соприкасаясь, дают одну широкую кайму, составленную изо всех цветов в должном порядке, где фиолетовый лежит с внутренней стороны каймы, около тени, красный — на внешней стороне, наиболее удаленной от тени, а синий, зеленый и желтый — посередине. Подобным же образом средние каемки всех цветов, располагаясь по порядку и соприкасаясь, дают другую широкую кайму, составленную из всех цветов; крайние каемки всех цветов, располагаясь в порядке и соприкасаясь, дают третью

широкую кайму, составленную из всех цветов. Таковы три каймы окрашенного света, которыми окружены тени всех тел во втором наблюдении.

Производя предыдущие наблюдения, я намеревался повторить большинство из них с большей тщательностью и точностью и сделать некоторые новые наблюдения для определения способа, каковым лучи света изгибаются при их прохождении около тел, создавая цветные каемки с темными линиями между ними. Но я был тогда прерван и не могу теперь думать о том, чтобы приняться за дальнейшее рассмотрение этих предметов. Ввиду того, что я не завершил этой части моего плана, я закончу предложением только нескольких вопросов для дальнейшего исследования, которое произведут другие [141].

Вопрос 1. Не действуют ли тела на свет на расстоянии и не изгибают ли этим действием его лучей; и не будет ли (*caeteris paribus*) [141 a] это действие сильнее всего на наименьшем расстоянии [142]?

Вопрос 2. Не различаются ли лучи, различные по преломляемости, также по изгибаемости, и не разделяются ли они один от другого их различным изгибанием так, что после разделения образуют вышеописанные три окрашенные каемки? И каков способ изгибания, приводящий к образованию этих каемок [142]?

Вопрос 3. Не изгибаются ли лучи света, проходя около краев тел, несколько раз вперед и назад, совершая движения, подобные движениям угря? И не возникают ли три окрашенные каймы, о которых я только что говорил, вследствие трех изгибаний такого рода [142]?

Вопрос 4. Не начинают ли лучи, которые падают на тела, отражаясь или преломляясь, изгибаться, еще не доходя до тел; и не происходят ли отражение, преломление и огибание по одному и тому же принципу, действующему различно в разных обстоятельствах [142]?

Вопрос 5. Не действуют ли тела и свет взаимно друг на друга: тела — испуская свет во все стороны,

отражая, преломляя и загибая его, свет же — нагревая тела и сообщая их частям колебательное движение, в котором состоит тепло [143]?

Вопрос 6. Не нагреваются ли черные тела светом легче всех других тел потому, что свет, падающий на черные тела, не отражается наружу, но входит в тела, отражается и преломляется внутри, пока не погаснет и не исчезнет [143]?

Вопрос 7. Не является ли напряжение и сила взаимодействия света и серных тел, указанные выше, одной из причин того, что эти тела легко воспринимают огонь и горят сильнее других тел [144]?

Вопрос 8. Все твердые тела, нагретые выше определенной степени, посылают свет и блестят; не происходит ли это испускание света вследствие колебательных движений частей тел? И все тела, изобилующие земельными частями, в особенности серными, не испускают ли свет, если эти части приходят в достаточное движение, которое может возникнуть от тепла, трения, удара, гниения, жизненного движения или от какой угодно другой причины, например: морская вода во время бури, ртуть при трясении в пустоте, спина кошки или шея лошади, когда их гладят против шерсти в темном месте; дерево, мясо, рыба, когда они начинают гнить; пары, когда они подымаются из гниющей воды, называемые обыкновенно *Ignes Fatui* [145]; копны сырого сена и зерна, нагреваемые брожением; светляки, глаза некоторых животных, светящиеся вследствие жизненных движений [146]; обычный *Phosphorus*, светящийся вследствие трения о какое-нибудь тело или благодаря кислым частицам воздуха; янтарь и некоторые алмазы при ударе, давлении или трении; частицы стали, отрываемые ударом кремня; железо, ударяемое молотом столь быстро, что, нагретое таким способом, оно зажигает брошенную на него серу; оси телег, воспламеняемые быстрым движением колес, и некоторые жидкости, частицы которых при перемешивании бурно вскипают, как, например, купоросное масло при дестилляции с равным весом селитры и смешанное затем с двойным весом анисового масла. Стеклянный шар 8

или 10 дюймов диаметром, установленный на станке так, что он может быстро вращаться вокруг своей оси, испускает свет при вращении в том месте, где он испытывает трение о ладонь руки. Если в это время держать кусок белой бумаги, или белой ткани, или палец на расстоянии около четверти или половины дюйма от той части стеклянного шара, которая находится в наибольшем движении, то электрический пар, возбуждаемый трением стекла о ладонь, при переходе на бумагу, ткань или палец будет в таком движении, что испускаемый при этом свет делает бумагу, сукно или палец светящимися подобно светляку; выскакивая из стекла, пар иногда ударяет в палец столь сильно, что чувствуется удар. Подобные же явления были найдены при трении длинного и толстого стеклянного или янтарного цилиндра о бумагу, которую держат в руке, причем трение продолжается до тех пор, пока стекло не станет теплым [147].

Вопрос 9. Не является ли огонь телом, нагретым до такой степени, что это тело испускает в изобилии свет? Так как чем же отличается докрасна накаленное железо от огня? И что иное пылающий уголь, как не докрасна нагретое дерево?

Вопрос 10. Не является ли пламя паром, дымом или некоторым выдыханием, нагретым докрасна, т. е. накаленным до яркого свечения? Ибо тела при воспламенении выбрасывают всегда некоторое количество дыма; и этот дым горит в пламени. *Ignis Fatui*[145] — пар, светящийся без тепла; не является ли различие между этим паром и пламенем таким же, как между гниющим деревом, светящимся без тепла, и накаленными углями? Если отнять огонь от перегонной колбы [148] при дистилляции спиртов, то пар, выходящий из колбы, загорается при приближении зажженной свечи и превращается в пламя; и это пламя распространяется вдоль пара от свечи в колбу. Некоторые тела, нагреваемые движением или брожением, обильно дымят, если жар доходит до значительной степени; если же жар становится достаточно сильным, этот дым светится и превращается в пламя. Расплавленные металлы не дают пламени, так как нет обильного дыма;

исключением является цинк, дающий дым и потому воспламеняющийся. Все воспламеняющиеся тела, как масло, сало, воск, дерево, каменный уголь, смола, сера, разрушаются пламенем и исчезают в виде горящего дыма. Если пламя убрать, дым становится густым и видимым и распространяет иногда очень сильный запах; но в пламени дым, сгорая, теряет свой запах. Смотря по природе этого дыма пламя имеет различную окраску: так, пламя серы — голубое, пламя меди, распыляемой при возгонке, — зеленое, у сала — желтое, у камфоры — белое. Проходя сквозь пламя, дым должен раскалиться, и раскаленный дым не отличается по виду от пламени. Когда порох загорается, он рассеивается в виде воспламененного дыма. Ибо уголь и сера легко воспринимают огонь и воспламеняют селитру, селитряный спирт[149] разрежается в пар и вырывается со взрывом почти так же, как водяной пар из эолипилы[150]; сера, будучи также летучей, превращается в пар и увеличивает взрыв. Кислый пар серы (переходящий в серное масло при дестилляции под колоколом), проникая с силою в твердые части селитры, извлекает из них селитряный спирт, производя большое брожение, чем увеличивается жар и твердые части селитры разрежаются в дым, что делает взрыв более сильным и быстрым. Ибо если смешать соль винного камня с порохом и нагреть смесь до огня, взрыв будет сильнее и быстрее, чем у одного пороха, что не может иметь другой причины, кроме действия пара пороха на виннокаменную соль, разрежающего эту соль. Взрыв пороха поэтому происходит от бурного действия, которое нагревает и разрежает сразу и сильно всю смесь, составляющую порох, и превращает в дым и пар, приобретающие благодаря силе действия такой жар, который заставляет их светиться и иметь вид пламени.

Вопрос 11. Не сохраняют ли тела большего объема свое тепло дольше, потому что их части взаимно нагреваются? И не может ли большое тело, плотное и твердое, нагретое однажды выше определенной степени, испускать свет в таком изобилии, что, вследствие испускания и противодействия света, отражений и преломле-

ний лучей внутри пор, тело становится все горячее до тех пор, пока оно не достигает такой степени жара, как у Солнца? И не являются ли Солнце и неподвижные звезды обширными землями, чрезвычайно нагретыми, причем их жар сохраняется величиною этих тел и взаимным действием и противодействием между ними и светом, ими посылаемым; испарению в дым их частиц препятствует не только их твердость, но еще большой вес и плотность атмосфер, сжимающих тела очень сильно со всех сторон и конденсирующих пары и выдыхания, подымающиеся из тел? Ибо если после нагревания воды в прозрачном сосуде извлечь воздух из сосуда, вода в пустоте запузырится и закипит столь же бурно, как и на открытом воздухе в сосуде, поставленном на огонь, сообщающий ему значительно бо́льшую степень тепла. Тяжесть атмосферы, давящая сверху, сжимает пары и препятствует кипению воды до тех пор, пока она не станет значительно теплее, чем то требуется для кипения *in vacuo*. Также смесь олова и свинца, расплавленная на накаленном докрасна железе, *in vacuo* выбрасывает дым и пламя, на чистом же воздухе та же смесь не дает никакого видимого дыма по причине атмосферы, давящей сверху. Таким же образом огромная тяжесть атмосферы, окружающей солнечный шар, могла бы препятствовать подъему и улетучиванию тел с Солнца в виде паров и дыма, если бы не жар, значительно больший, чем на поверхности нашей Земли, который легко превращает тела на Солнце в пары и дым. Та же тяжесть атмосферы может сгущать пары и испарения, исходящие от тел на Солнце, как только они начинают подниматься, и заставляет их тотчас же падать на Солнце; таким способом жар на Солнце может увеличиваться почти так же, как на нашей Земле воздух увеличивает жар наших кухонных печей. Тот же вес атмосферы может препятствовать уменьшению солнечного шара, которое осуществляется только излучением света [151] и небольшого количества паров и выдыханий.

Вопрос 12. Не возбуждают ли лучи света, падая на дно глаза, в *Tunica Retina* колебаний, распространяющихся

вдоль твердых волокон оптических нервов до мозга, вызывая ощущение зрения? Ибо на том основании, что плотные тела долго сохраняют тепло и тем больше, чем они плотнее, колебания частей этих тел — длительной природы и, следовательно, могут распространяться на большое расстояние вдоль твердых волокон плотного и однородного вещества, вызывая в мозгу впечатления, производимые на все органы чувств. Ибо движение, которое будет продолжаться долгое время в одной и той же части тела, может также распространяться от одной части к другой на большое расстояние, если только предполагать, что тело однородно, так что движение не может отражаться, преломляться, прерываться или искажаться какими-либо неоднородностями в теле.

Вопрос 13. Не производят ли лучи различных сортов колебания различной ширины, так что эти колебания, смотря по ширине, возбуждают ощущения различных цветов почти так же, как воздушные колебания вызывают ощущения различных звуков, смотря по их ширине. И в частности не производят ли наиболее преломляемые лучи наиболее коротких колебаний, вызывающих ощущение глубокого фиолетового цвета, наименее преломляемые — наиболее широкие колебания, вызывающие ощущение глубокого красного цвета, а различные сорта промежуточных лучей—колебания различных промежуточных длин, вызывающих ощущение различных промежуточных цветов[152]?

Вопрос 14. Не может ли происходить гармония и разногласие цветов от пропорций колебаний, распространяющихся в мозг по волокнам оптических нервов, подобно тому как гармония и разногласие звуков происходит от пропорций воздушных колебаний? Ибо существуют некоторые цвета, которые при совместном рассмотрении подходят хорошо один к другому, как, например, золото и индиго, другие же не согласуются.

Вопрос 15. Не соединяются ли изображения предметов, видимых обоими глазами, в том месте, где встречаются оптические нервы, прежде чем войти в мозг; волокна правой стороны обоих нервов соединяются там

и идут далее к мозгу в нерв, находящийся в правой стороне головы; волокна же левой стороны обоих нервов соединяются в том же месте и идут далее к мозгу в нерв, находящийся в левой стороне головы; эти два нерва соединяются в мозгу, так что их волокна дают только одно целое изображение; половина его, находящаяся в правой стороне чувствилища, приходит от правой стороны обоих глаз правою стороною двух оптических нервов туда, где нервы соединяются, и отсюда в мозг по правой стороне головы; другая же половина, в левой стороне чувствилища, приходит таким же образом от левой стороны обоих глаз? Ибо оптические нервы животных, смотрящих обоими глазами в одну сторону (каковы люди, собаки, овцы, быки и пр.), соединяются, прежде чем войти в мозг, оптические же нервы животных, которые смотрят разными глазами в разные стороны (каковы рыбы и хамелеоны), не соединяются, если я правильно осведомлен[153].

Вопрос 16. Если в темноте нажать пальцем на угол глаза и повернуть глаз в противоположную сторону от пальца, то виден круг, окрашенный в цвета, очень похожие на цвета перьев павлиньего хвоста. Если глаз и палец находятся в покое, эти цвета исчезают в одну секунду, но если двигать палец колебательным движением, они снова появляются. Не происходят ли эти цвета от движений, возбуждаемых на дне глаза давлением и движением пальца, подобных тем, которые производит свет при возбуждении зрения? И не продолжаются ли эти движения, раз возбужденные, приблизительно в течение одной секунды, прежде чем кончатся? Если глаз испытывает удар и видит при этом вспышку света, то не происходит ли это от таких же движений сетчатки? И если при быстром круговом вращении раскаленного угля мы видим всю окружность круга как огненный круг, — не происходит ли это потому, что движения, возбужденные лучами света на дне глаза, — длящиеся по своей природе и продолжаются до тех пор, пока уголь не возвратится на своем пути в исходное место? И, принимая во внимание длительность движений,

возбуждаемых светом на дне глаза, не следует ли заключить, что эти движения по своей природе колебательные[153a]?

Вопрос 17. Если бросить камень в стоячую воду, то возбужденные при этом волны продолжают некоторое время возникать в том месте, где камень упал, и распространяются оттуда концентрическими кругами по поверхности воды на большие расстояния. Колебания или дрожания, возбуждаемые в воздухе ударом, продолжают также короткое время двигаться от места удара по концентрическим сферам на большие расстояния. Не могут ли таким же образом в том случае, когда луч света падает на поверхность какого-нибудь прозрачного тела и преломляется там или отражается, возбуждаться вследствие этого волны, или колебания, или дрожания в преломляющей или отражающей среде в точке падения, продолжая там возникать и распространяться столь же долго, как они возникают и распространяются при возбуждении на дне глаза давлением, или движением пальца, или светом, приходящим от накаленного угля в вышеуказанном опыте. И не распространяются ли эти колебания на большие расстояния от точки падения? И не обгоняют ли они лучей света и, обгоняя их последовательно, не приводят ли их в приступы легкого отражения и легкого пропускания, описанные выше? Ибо если лучи стремятся отойти от наиболее плотных частей колебания, они могут попеременно ускоряться и замедляться колебаниями, обгоняющими их[154].

Вопрос 18. Если подвесить в два широких длинных опрокинутых стеклянных цилиндра два маленьких термометра так, чтобы они не касались сосудов, выкачать воздух из одного сосуда и перенести эти сосуды, приготовленные таким образом, из холодного места в теплое, то термометр *in vacuo* будет становиться столь же теплым и почти так же быстро, как термометр, не находящийся *in vacuo*. Если перенести сосуды назад в холодное место, то термометр *in vacuo* будет охлаждаться почти столь же быстро, как и другой термометр. Не проводится ли тепло теплой комнаты через *Vacuum* по-

средством колебаний более тонкой среды, чем воздух, которая остается *in vacuo* после извлечения воздуха? И не будет ли эта среда той же самой, как и среда, посредством колебаний которой свет сообщает телам тепло и ввергается в приступы легкого отражения и легкого прохождения? И не способствуют ли колебания этой среды в нагретых телах интенсивности и длительности их тепла? Не передают ли нагретые тела свое тепло соприкасающимся холодным при помощи колебаний этой среды, распространяющихся от нагретых тел к холодным? Не является ли эта среда чрезвычайно разреженной и тонкой в сравнении с воздухом и чрезвычайно упругой и активной в сравнении с ним? Не проникает ли она легко во все тела? И не расширяется ли (благодаря ее упругой силе) по всему небу?

Вопрос 19. Не происходит ли преломление света вследствие различной плотности этой эфирной среды в различных местах, причем свет всегда отступает от более плотных частей среды. И не будет ли поэтому плотность большей в свободных и открытых пространствах, без воздуха и других больших тел, чем внутри пор воды, стекла, хрусталя, драгоценных камней и других плотных тел? Ибо когда свет проходит через стекло или хрусталь и падает очень отлого на вторую поверхность, то он полностью отражается; полное отражение должно происходить скорее от плотности и силы среды снаружи за стеклом, чем вследствие ее разреженности и слабости.

Вопрос 20. Не делается ли эта эфирная среда при переходе из воды, стекла, хрусталя и других твердых и плотных тел в пустое пространство постепенно все плотнее и плотнее, преломляя таким образом лучи света не в точке, но загибая их постепенно в кривые линии? И не простирается ли это постепенное уплотнение среды на некоторое расстояние от тел, вызывая благодаря этому изгибание лучей света, проходящих у ребер плотных тел на некотором расстоянии от них?

Вопрос 21. Не является ли эта среда значительно более разреженной внутри плотных тел — Солнца, звезд, планет и комет, чем в пустых небесных пространствах

между ними? И не становится ли она постоянно плотнее при удалении от этих тел на большие расстояния, вызывая благодаря этому тяготение этих больших тел друг к другу, а их частей к центру, так как каждое тело стремится итти от более плотных частей среды к более разреженным? Ибо если эта среда разреженнее внутри тела Солнца, чем на его поверхности, а на поверхности реже, чем на сотой части дюйма от тела, здесь же реже, чем на пятидесятой части дюйма от тела, где она разреженнее, чем на орбите Сатурна, то я не вижу основания, почему возрастание плотности должно где-нибудь остановиться, а не продолжается на все пространства от Солнца до *Сатурна* и дальше. Такое возрастание плотности на больших расстояниях может быть чрезвычайно медленным, однако если упругая сила этой среды чрезвычайно велика, то этого возрастания может быть достаточно для того, чтобы устремлять тела от более плотных частей среды к более разреженным со всей той силой, которую мы называем тяготением. О чрезвычайной величине упругой силы этой среды можно заключить по скорости ее колебаний. Звук проходит около 1140 *английских* футов в секунду времени, в семь или восемь минут времени он проходит около ста *английских* миль. Свет доходит от Солнца до нас приблизительно в семь или восемь минут времени, причем это расстояние около 70 000 000 *английских* миль, если предполагать горизонтальный параллакс солнца около 12″. Колебания, или пульсации, этой среды должны быть быстрее света, чтобы вызвать попеременные приступы легкого прохождения и легкого отражения, следовательно, более чем в 700 000 раз быстрее звука. Поэтому упругая сила этой среды в отношении к ее плотности должна превышать более чем в 700 000×700 000 (то-есть более чем в 490 000 000 000 раз) упругую силу воздуха в отношении к его плотности. Ибо скорости пульсаций упругих сред относятся, как квадратные корни из упругостей и разреженностей сред, умноженных друг на друга[155].

Подобно тому как притяжение в малых магнитах сильнее в отношении к их объему, чем в больших, точно

так же и тяготение в отношении к объемам больше на поверхности малых планет, чем больших, и как малые тела значительнее двигаются при электрическом притяжении, чем большие, точно так же малость лучей света может очень способствовать мощи агента, посредством которого они преломляются. Если кто-нибудь предположит, что *эфир* (подобно нашему воздуху), может быть, содержит частицы, которые стремятся отталкиваться одна от другой (я не знаю, что такое этот *эфир*), и что его частицы крайне малы сравнительно с частицами воздуха и даже света, то чрезвычайная малость этих частиц может способствовать величине силы, благодаря которой частицы отталкиваются друг от друга, делая среду необычайно разреженной и упругой в сравнении с воздухом и, следовательно, в ничтожной степени способной к сопротивлению движениям брошенных тел и чрезвычайно способной, вследствие стремления к расширению, давить на большие тела.

Вопрос 22. Не могут ли планеты и кометы и все большие тела совершать свои движения более свободно и с меньшим сопротивлением в этой эфирной среде, чем в какой-либо жидкости, равномерно, без пор заполняющей все пространство и поэтому более плотной, чем ртуть или золото? И не может ли быть это сопротивление столь малым, что им можно пренебречь? Например: если этот *эфир* (ибо так я хочу его называть) предположить в 700 000 раз более упругим, чем наш воздух, и более чем в 700 000 раз разреженным, то сопротивление его будет свыше чем в 600 000 000 раз меньшим, чем у воды. Столь малое сопротивление едва ли произведет заметное изменение движений планет за десять тысяч лет. Если кто-нибудь спросит, каким образом среда может быть такой разреженной, то пусть он мне скажет, каким образом воздух в верхних частях атмосферы может быть более чем в сто тысяч раз разреженнее золота. Пусть он мне скажет также, каким образом электрическое тело может при трении испускать столь редкое и тонкое и, однако, столь могущественное выдыхание; это испускание не вызывает заметного уменьшения

веса электрического тела и распространяется по сфере с диаметром более двух футов; оно способно, однако, двигать и уносить листочек меди или листочек золота на расстояние более фута от электрического тела? И каким образом истечения магнита могут быть настолько разреженными и тонкими, что проходят через стеклянную пластинку без всякого сопротивления или уменьшения их силы, и, однако, столь могущественными, что они вращают магнитную стрелку за стеклом?

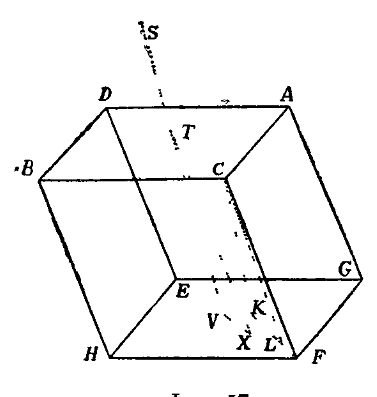
Вопрос 23. Не происходит ли зрение благодаря колебаниям этой среды, возбуждаемым на дне глаза лучами света и распространяющимся через твердые, прозрачные и однородные Capillamenta[156] оптических нервов к месту ощущения? И не происходит ли слух благодаря колебаниям этой или какой другой среды, возбуждаемым в слуховых нервах дрожаниями воздуха и распространяемым через твердые, прозрачные и однородные Capillamenta этих нервов к месту ощущения? И так же в отношении других чувств.

Вопрос 24. Не происходит ли движение животных посредством колебаний этой среды, возбуждаемых в мозгу силой воли и распространяющихся оттуда через твердые, прозрачные и однородные Capillamenta нервов к мускулам, для их сжатия и расширения? Я предполагаю, что каждый из Capillamenta нервов — твердый и однородный, для того чтобы колебательное движение эфирной среды могло распространяться вдоль по ним от одного конца к другому равномерно и без перерывов, ибо препятствия в нервах создают парализацию. Для достаточной однородности я предполагаю, что они прозрачны, если их рассматривать в отдельности, хотя отражения на их цилиндрических поверхностях могут заставить весь нерв (состоящий из многих Capillamenta) казаться темным и белым. Непрозрачность отражающих поверхностей вызывала бы возмущение и перерыв движений этой среды[157].

Вопрос 25. Нет ли других изначальных свойств у лучей света кроме тех, которые уже описаны? Пример иного изначального свойства мы имеем в преломлении

исландского кристалла, описанном впервые *Эразмом Бартолином*[158] и после этого более точно *Гугением*[159] в его книге *De la Lumière*. Этот кристалл — прозрачный камень, раскалывающийся пластами, ясный, как вода или горный хрусталь, и без окраски; он выносит красный жар, не теряя своей прозрачности, и на очень сильном жару превращается в известь без плавления. При вымачивании день или два в воде он теряет свою естественную полировку. Если его натереть сукном, он притягивает соломинки и другие легкие тела подобно янтарю или стеклу, с *Aqua fortis* он вскипает. Он является, повидимому, сортом талька и находится в форме косых параллелепипедов с шестью сторонами в виде параллелограммов и восемью телесными углами. Каждый из тупых углов параллелограмма имеет 101 градус и 52 минуты, каждый острый — 78 градусов и 8 минут. Два телесных угла, противоположные друг другу — C и E образованы тремя такими (*смотри схему*) тупыми углами, остальные же — одним тупым и двумя острыми. Кристалл легко расщепляется по плоскостям, параллельным любой из сторон, и не расщепляется по другим. При расщеплении он дает блестящую полированную поверхность, не совершенно плоскую, но с небольшими неровностями. Он легко царапается и по причине своей мягкости очень трудно поддается полировке. Он лучше полируется на полированном зеркальном стекле, чем на металле, и, может быть, еще лучше на смоле, коже или пергаменте. После этого его нужно протирать небольшим количеством масла или яичного белка, чтобы заполнить царапины; при этом он станет очень прозрачным и полированным. Но для многих опытов нет необходимости его полировать[160]. Если положить кусок этого кристаллического камня на книгу, каждая буква книги через него будет казаться двойной благодаря двойному преломлению. Если какой-нибудь пучок света падает перпендикулярно или наклонно на одну из поверхностей кристалла, то пучок разделяется на два благодаря тому же двойному преломлению. Эти пучки имеют ту же окраску, как и падающий пучок света, и, повидимому, равны друг другу

по количеству света или почти равны. Одно из этих преломлений происходит по обыкновенному правилу оптики: синус падения из воздуха в кристалл относится к синусу преломления, как пять к трем. Другое преломление, которое можно назвать необыкновенным, происходит по следующему правилу. Пусть $ADBC$ представляет преломляющую поверхность кристалла, C — наибольший телесный угол при этой поверхности, $GEHF$ — противоположную поверхность, CK — перпендикуляр к этой поверхности. Этот перпендикуляр составляет с ребром кристалла CF угол в 19 град. 3′. Проведем KF и на ней возьмем KL так, что угол KCL будет 6 град. 40′ и угол LCF — 12 град. 23′. Если ST представляет пучок света, падающий в T под каким-нибудь углом на преломляющую поверхность $ADBC$, то пусть TV будет преломленный пучок, определяемый данной пропорцией синусов 5 к 3, соответственно обыкновенному правилу оптики; проведем линию VX, параллельную и равную KL, расположенную относительно V так же, как L относительно K; соединим прямой T и X; эта линия TX будет другим преломленным пучком, направляющимся от T к X благодаря необыкновенному преломлению.



Фиг. 57.

Если, поэтому, падающий пучок ST будет перпендикулярным к преломляющей поверхности, то два пучка TV и TX, на которые он разделится, будут параллельными линиям CK и CL; один из этих пучков проходит через кристалл перпендикулярно, как должно быть по обыкновенным законам оптики, второй же пучок TX, благодаря необыкновенному преломлению, отклонится от перпендикуляра, образуя с ним угол VTX около $6\,^2/_3$ градуса, как это найдено на опыте. Поэтому плоскость VTX

и подобные же плоскости, параллельные плоскости CFK, могут быть названы плоскостями перпендикулярного преломления, сторона же, в которую проведены линии KL и VX, может быть названа краем необыкновенного преломления.

Подобным же образом горный хрусталь имеет двойное преломление, однако различие двух преломлений не столь велико и ясно, как в исландском кристалле.

Когда пучок ST, падающий на исландский кристалл, разделяется на два пучка TV и TX и два эти пучка доходят до второй поверхности стекла, то пучок TV, преломившийся в первой поверхности обыкновенным способом, преломляется снова полностью обычным способом у второй поверхности, пучок же TX, преломившийся на первой поверхности необыкновенно, снова полностью необыкновенным способом преломляется у второй поверхности, так что оба эти пучка будут выходить из второй поверхности по линиям, параллельным первоначальному падающему пучку ST.

Если поместить два куска исландского кристалла один за другим таким образом, чтобы все поверхности второго кристалла были параллельны соответствующим поверхностям первого, то лучи, преломляющиеся обыкновенным способом в первой поверхности первого кристалла, будут преломляться обыкновенным же способом во всех остальных поверхностях; лучи же, преломляющиеся необыкновенным способом в первой поверхности, будут необыкновенно преломляться и в следующих поверхностях. То же самое происходит, если поверхности кристаллов наклонены каким-нибудь образом одна к другой, если только их плоскости перпендикулярного преломления параллельны между собою.

Поэтому существует изначальное различие в лучах света, благодаря которому некоторые лучи в этом опыте постоянно преломляются обыкновенно, другие же — постоянно необыкновенно. Ибо если бы различие не было изначальным, но возникало от новых видоизменений, производимых в лучах при их первом преломлении, оно изменилось бы при новых модификациях во время трех

следующих преломлений; между тем оно не изменяется, остается постоянным и производит то же действие на лучи при всех преломлениях. Поэтому необыкновенное преломление происходит благодаря изначальному свойству лучей. Остается исследовать, не имеют ли лучи и другие изначальные свойства, кроме уже открытых[161].

Вопрос 26. Не обладают ли лучи света различными сторонами с различными изначальными свойствами? Ибо если плоскости перпендикулярного преломления второго кристалла находятся под прямым углом к плоскости перпендикулярного преломления первого кристалла, то лучи, преломляемые обыкновенным способом, при прохождении через первый кристалл будут полностью преломляться необыкновенным способом при прохождении через второй кристалл, лучи же, преломляющиеся необыкновенно при прохождении через первый кристалл, будут полностью преломляться обыкновенным способом при прохождении через второй кристалл. Поэтому не существует двух сортов лучей, отличающихся по своей природе один от другого так, что один постоянно при всех положениях преломляется обыкновенным способом, другой же постоянно во всех положениях — необыкновенным способом. Разница между двумя сортами лучей в опыте, указанном в 25-м вопросе, была только в положениях сторон лучей относительно плоскостей перпендикулярного преломления. Ибо один и тот же луч преломляется здесь иногда обыкновенно, иногда необыкновенно — сообразно положению его сторон относительно кристалла. Если стороны луча расположены одинаково к обоим кристаллам, луч одинаково преломляется в обоих, но если та сторона луча, которая направлена к краю необыкновенного преломления первого кристалла, находится под углом в 90 градусов к стороне того же луча, направленной к краю необыкновенного преломления второго кристалла (что можно осуществить, изменяя положение второго кристалла относительно первого или, следовательно, относительно лучей света), то луч будет преломляться различными способами в различных кристаллах. Для определения того, будут ли лучи света,

падающие на второй кристалл, преломляться обыкновенно или необыкновенно, требуется только поворачивать этот кристалл так, чтобы край необыкновенного преломления этого кристалла находился то с одной, то с др гой стороны луча. Следовательно, каждый луч можно рассматривать как имеющий четыре стороны, или четверти, две из которых, противоположные одна другой, склоняют луч к необыкновенному преломлению, как только любая из них повернется к краю необыкновенного преломления в кристалле; две же другие стороны, хотя бы и повернутые к краю необыкновенного преломления в кристалле, склоняют его только к обыкновенному преломлению. Две первые могут быть поэтому названы сторонами необыкновенного преломления. Такие расположения существовали в лучах до их падения на вторую, третью и четвертую поверхности кристалла и не испытывали изменения (насколько можно судить) во время преломления лучей при их прохождении через эти поверхности; лучи преломлялись по одним и тем же законам во всех четырех поверхностях. Поэтому ясно, что эти расположения существовали в лучах изначально, не испытывая изменения при первом преломлении; благодаря этим расположениям лучи преломлялись при их падении на первую поверхность первого кристалла, некоторые обыкновенно, некоторые необыкновенно, соответственно тому, были ли обращены их стороны необыкновенного преломления к краю необыкновенного преломления кристалла или в сторону от него.

Каждый луч света имеет поэтому две противоположные стороны, изначально наделенные свойством, от которого зависит необыкновенное преломление, и две другие стороны, этим свойством не наделенные. Остается исследовать, нет ли еще свойств света, по отношению к которым отличались бы стороны луча и разнились одна от другой.

При объяснении различия вышеупомянутых сторон лучей я предполагал, что лучи падают на первый кристалл перпендикулярно. Однако, если они падают отлого на кристалл, результат будет тот же. Те лучи, которые преломляются в первом кристалле обыкновенно, будут

преломляться необыкновенно во втором кристалле, если предполагать, что плоскости перпендикулярного преломления кристаллов образуют прямой угол между собою, как раньше; и наоборот.

Если плоскости перпендикулярного преломления двух кристаллов не параллельны и не перпендикулярны между собою, но образуют острый угол, то каждый из двух пучков света, выходящих из первого кристалла, разделится на два при падении на второй кристалл. Ибо в этом случае в каждом из пучков некоторые лучи будут иметь обращенными к краю необыкновенного преломления второго кристалла стороны необыкновенного преломления, некоторые же — другие стороны[162].

Вопрос 27. Не ошибочны ли все гипотезы, изобретенные до сих пор для объяснения явлений света посредством новых модификаций лучей? Ибо эти явления зависят не от новых модификаций, как предполагалось, но от изначальных и неизменных свойств лучей[163].

Вопрос 28. Не ошибочны ли все гипотезы, в которых свет приписывается давлению или движению, распространяющемуся через некоторую жидкую среду? Ибо во всех этих гипотезах явления света объяснялись до сих пор предположением, что они возникают вследствие новых модификаций лучей, что является ошибочным предположением.

Если бы свет состоял только в давлении, распространяющемся без действительного движения, он не был бы способен двигать и нагревать тела, его преломляющие и отражающие. Если бы он состоял в движении, мгновенно распространяющемся на все расстояния, то требовалась бы каждый момент бесконечная сила в каждой светящейся частице, чтобы производить движение. Если бы свет состоял в давлении или движении, распространяющихся мгновенно или во времени, он должен бы загибаться внутрь тени. Ибо давление или движение не могут распространяться в жидкости по прямым линиям около препятствия, задерживающего часть движения, — они будут загибаться и распространяться повсюду внутри покоящейся среды, лежащей за препятствием. Тяжесть

направлена вниз, но давление воды, возникающее от тяжести, направлено всюду с равной силой и распространяется столь же легко и с такой же силой в стороны, как и вниз, через извилистые проходы так же, как через прямые. Волны на поверхности стоячей воды, проходя по сторонам широкого препятствия, задерживающего часть волн, после этого загибаются и постоянно расширяются в покоящуюся воду за препятствием. Волны, пульсации или колебания воздуха, из которых состоит звук, ясно загибаются, однако не так сильно, как водяные волны. Ибо колокол или пушку можно слышать за холмом, загораживающим вид звучащего тела, и звук распространяется так же легко по извилистым трубкам, как по прямым. Относительно света неизвестно ни одного случая, чтобы он распространялся по извилистым проходам или загибался внутрь тени[164]. Ибо при прохождении одной из планет между Землей и неподвижными звездами последние перестают быть видимыми. То же происходит с частями Солнца при прохождении Луны, Меркурия или Венеры. Лучи, проходящие очень близко от краев какого-нибудь тела, немного загибаются действием тела, как мы видели выше; но это загибание направлено не внутрь, но от тени и происходит только при прохождении луча около тела и на очень малом расстоянии от него. Как только луч проходит мимо тела, он идет дальше по прямой.

Объяснять необыкновенное преломление исландского кристалла распространяющимся давлением или движением до сих пор не пытались (насколько мне известно), за исключением *Гюйгенса*, предположившего для этой цели две различные колеблющиеся среды внутри такого кристалла. Но когда он попробовал изучить преломления в двух последовательных кусках этого кристалла и нашел, что они происходят так, как указано выше, он признался сам, что не может их объяснить. Ибо давления или движения, распространяющиеся от светящегося тела сквозь однородную среду, должны быть одинаковы со всех сторон; между тем из этих опытов ясно, что лучи света имеют различные свойства по их различным

сторонам. Он предположил, что пульсации *эфира* при прохождении через первый кристалл могут получать некоторые новые модификации, которые определяют, будут ли пульсации распространяться в той или другой среде внутри второго кристалла, соответственно положению этого кристалла. Какого рода эти видоизменения,— он, однако, не мог сказать и не мог придумать чего-либо удовлетворительного в этом отношении[165]. Если бы он знал, что необыкновенное преломление зависит не от новых видоизменений, но от изначальных и неизменяемых расположений лучей, он нашел бы, что все же трудно объяснить, каким образом эти расположения, сообщаемые лучам первым кристаллом, по его предположению, могут существовать в лучах до их падения на этот кристалл, и вообще каким образом все лучи, испускаемые светящимися телами, могут иметь в себе такие расположения с самого начала. Мне, по крайней мере, это кажется необъяснимым, если свет не что иное как давление или движение, распространяющееся через *эфир*.

Так же трудно объяснить при помощи этой гипотезы, каким образом лучи могут находиться попеременно в приступах легкого отражения или легкого прохождения; разве только можно предположить, что во всем пространстве существуют две эфирные колеблющиеся среды, причем колебания одной из них составляют свет, колебания же другой быстрее, и всякий раз, как последние обгоняют колебания первой среды, они приводят их в указанные приступы. Однако непонятно, каким образом два *эфира* могут быть рассеяны по всему пространству, причем один из них действует на другой, а следовательно, испытывает и противодействие, не замедляя, не возмущая, не рассеивая и не спутывая движений друг друга. Против заполнения неба жидкими средами, если они только не чрезвычайно разрежены, возникает большое сомнение в связи с правильными и весьма длительными движениями планет и комет по всякого рода путям в небесном пространстве. Ибо отсюда ясно, что небесное пространство лишено всякого заметного сопротивления, а следовательно, и всякой ощутимой материи.

Ибо сила сопротивления жидкой среды возникает частью от трения частей среды и частью от *Vis inertiae* материи. Та часть сопротивления сферического тела, которая возникает от трения частей среды, весьма точно пропорциональна диаметру или по большей части произведению диаметра на скорость сферического тела. Та же часть сопротивления, которая возникает от *Vis inertiae* материи, пропорциональна квадрату того же произведения. По этой разнице можно различить два сорта сопротивления один от другого в любой среде; если разделить сопротивления таким образом, то можно найти, что почти все сопротивление тел большой величины, движущихся в воздухе, воде, ртути и тому подобных жидкостях с большой скоростью, происходит от *Vis inertiae* частей жидкости [166].

Та часть силы сопротивления некоторой среды, которая возникает от вязкости или трения частей среды, может быть уменьшена, если материю разделить на более мелкие части и сделать эти части более гладкими и скользкими. Но та часть сопротивления, которая происходит от *Vis inertiae*, пропорциональна плотности материи и не может быть уменьшена разделением материи на более мелкие части или какими-нибудь иными способами, кроме уменьшения плотности среды. По этим причинам плотность жидкой среды весьма близко пропорциональна ее сопротивлению. Жидкости, немного отличающиеся по плотности, как вода, винный спирт, терпентиновый спирт, горячее масло, немного отличаются и по сопротивлению. Вода в тринадцать или четырнадцать раз легче ртути и, следовательно, в тринадцать или четырнадцать раз разреженнее; сопротивление ее в той же пропорции меньше, чем у ртути, или около этого, как я нашел из опытов с маятниками [167]. Открытый воздух, которым мы дышим, в восемьсот или девятьсот раз легче воды и, следовательно, в восемьсот или девятьсот раз разреженнее: соответственно его сопротивление меньше, чем у воды, в той же пропорции или около этого, как я также нашел из опытов с маятниками. В разреженном воздухе сопротивление еще меньше и,

наконец, при дальнейшем разрежении становится незаметным. Ибо маленькие перья, падая на открытом воздухе, встречают большое сопротивление, но в высоком стеклянном сосуде, хорошо освобожденном от воздуха, они падают так же быстро, как свинец или золото, как я несколько раз видел на опыте. Поэтому сопротивление, повидимому, продолжает уменьшаться пропорционально плотности жидкости. Ибо ни в одном опыте я не нашел, чтобы тела, движущиеся в ртути, воде или в воздухе, встречались с каким-либо иным заметным сопротивлением, кроме того, которое возникает от плотности и вязкости этих ощутимых жидкостей, что, однако, должно бы произойти, если бы поры этих жидкостей и все другие пространства были наполнены плотной и тонкой жидкостью. Если, теперь, сопротивление в сосуде, хорошо освобожденном от воздуха, было хотя бы в сто раз меньше, чем в открытом воздухе, оно должно быть приблизительно в миллион раз меньше, чем в ртути. Но, повидимому, сопротивление в таком сосуде значительно меньше и еще меньше в небесном пространстве на высоте трехсот или четырехсот миль от земли или выше. Ибо мр. *Бойль* [168] показал, что воздух можно разредить больше чем в десять тысяч раз в стеклянном сосуде; небесное же пространство значительно разреженнее всякого *Vacuum'a*, который мы можем получить. Ибо воздух сжимается весом лежащей над ним атмосферы, и плотность воздуха пропорциональна сжимающей силе; поэтому из расчета следует, что на высоте около семи *английских* миль от земли воздух в четыре раза реже, чем на поверхности земли, на высоте 14 миль он в шестнадцать раз реже, чем на поверхности; на высоте 21, 28 или 35 миль он соответственно в 64, 256 или 1024 раза реже или около этого; на высоте в 70, 140, 210 миль он приблизительно в 1 000 000, 1 000 000 000 000, 1 000 000 000 000 000 000 раз реже и так далее.

Тепло весьма сильно увеличивает текучесть, уменьшая вязкость тел. Оно делает жидкими многие тела, которые не жидки на холоде, и увеличивает текучесть таких вязких жидкостей, как масло, бальзам или мед,

уменьшая при этом их сопротивление. Но тепло незначительно уменьшает сопротивление воды; иное дело должно бы происходить, если бы значительная часть сопротивления воды возникала от трения или вязкости ее частей. Поэтому сопротивление воды возникает главным образом и почти полностью от *Vis inertiae* ее материи; следовательно, если бы небеса были столь же плотны, как вода, они не имели бы значительно меньшего сопротивления, чем вода; если бы они были плотны, как ртуть, они не имели бы сопротивления значительно меньшего, чем у ртути; если бы они были абсолютно плотны или наполнены материей без всякого *Vacuum'a*, они имели бы сопротивление больше, чем у ртути, хотя бы материя была тоньше и текучее всякой другой. Твердый шар в такой среде будет терять больше половины своего движения, продвигаясь на три длины своего диаметра; нетвердый же шар (каковы планеты) будет задерживаться быстрее.

Поэтому для того, чтобы дать дорогу правильным, длительным движениям планет и комет, необходимо, чтобы небесное пространство было совершенно лишено материи, за исключением, может быть, некоторых очень тонких паров, испарений или истечений, возникающих из атмосфер Земли, планет и комет и от такой необычайно разреженной эфирной среды, которую мы описали выше. Плотная жидкость бесполезна для объяснения явлений природы, — движения планет и комет лучше объясняются без нее. Она служила бы только для возмущения и замедления движений этих больших тел и ослабления мироздания. В порах тел она служила бы только для остановки колебательных движений частей тел, в которых состоит их тепло и активность. И поскольку она бесполезна и мешает действиям природы, делая их слабыми, постольку нет доказательств ее существования, и поэтому она должна быть отброшена. Если же ее отбросить, то и гипотезы о том, что свет состоит в давлении или движении, распространяющемся через такую среду, отпадают вместе с нею.

За то, чтобы отбросить такую среду, мы имеем авторитет тех древнейших и наиболее знаменитых философов *Греции* и *Финикии*, которые приняли *Vacuum*, и атомы, и тяготение атомов как первые принципы своей философии, приписывая, молчаливо, тяжесть некоторой иной причине, а не плотной материи. Позднейшие философы изгнали воззрение о такой причине из натуральной философии, измышляя гипотезы для механического объяснения всех вещей и относя другие причины в метафизику. Между тем главная обязанность натуральной философии — делать заключения из явлений, не измышляя гипотез, и выводить причины из действий до тех пор, пока мы не придем к самой первой причине, конечно не механической, и не только раскрывать механизм мира, но главным образом разрешать следующие и подобные вопросы. Что находится в местах почти лишенных материи и почему Солнце и планеты тяготеют друг к другу, хотя между ними нет плотной материи? Почему природа не делает ничего понапрасну, и откуда проистекают весь порядок и красота, которые мы видим в мире? Для какой цели существуют кометы, и почему все планеты движутся в одном и том же направлении по концентрическим орбитам, в то время как кометы движутся по всевозможным направлениям по очень эксцентрическим орбитам, и что мешает падению неподвижных звезд одной на другую? Каким образом тела животных устроены с таким искусством, и для какой цели служат их различные части? Был ли построен глаз без понимания оптики, а ухо без знания акустики? Каким образом движения тел следуют воле, и откуда инстинкт у животных? Не там ли чувствилище животных, где находится чувствительная субстанция, к которой через нервы и мозг подводятся ощутимые образы предметов так, что они могут быть замечены вследствие непосредственной близости к этой субстанции? И если эти вещи столь правильно устроены, не становится ли ясным из явлений, что есть бестелесное существо, живое, разумное, всемогущее, которое в бесконечном пространстве, как бы в своем чувствилище, видит все вещи вблизи,

прозревает их насквозь и понимает их вполне благодаря их непосредственной близости к нему. Только образы этих вещей приносятся через органы чувств в наши малые чувствилища и замечаются и удерживаются в них тем, что в нас видит и мыслит. И хотя всякий верный шаг на пути этой философии не приводит нас непосредственно к познаванию первой причины, однако он приближает нас к ней и поэтому должен высоко цениться [169].

Вопрос 29. Не являются ли лучи света очень малыми телами, испускаемыми светящимися веществами? Ибо такие тела будут проходить через однородные среды без загибания в тень, соответственно природе лучей света. Они могут иметь также различные свойства и способны сохранять эти свойства неизменными при прохождении через различные среды, в чем заключается другое условие лучей света. Прозрачные вещества действуют на лучи света на расстоянии, преломляя, отражая и изгибая их, и взаимно лучи двигают части этих веществ на расстоянии, нагревая их; это действие и противодействие на расстоянии очень похожи на притягательную силу между телами. Если преломление происходит благодаря притяжению лучей, синусы падения должны находиться к синусам преломления в данном отношении, как мы показали в наших Началах Философии [170]. Это правило оправдывается опытом. Лучи света, переходя из стекла в *Vacuum*, загибаются к стеклу, и если они падают слишком отлого в *Vacuum*, они загибаются обратно в стекло [171] и полностью отражаются; это отражение не может быть приписано сопротивлению абсолютного *Vacuum'a*, но должно вызываться силою стекла, притягивающей лучи при их выходе в *Vacuum* и возвращающей их назад. Ибо если вторую поверхность стекла смочить водой, или прозрачным маслом, или жидким и прозрачным медом, то лучи, которые в ином случае отразились бы, переходят в воду, масло или мед и поэтому не отражаются, доходя до новой поверхности стекла, но начинают из него выходить. Если они входят в воду, масло или мед, они проходят, потому что притяжение стекла уравновешивается и становится бездейственным благодаря противоположному притяжению

жидкости. Но если лучи выходят в *Vacuum*, который не производит притяжения, уравновешивающего притяжение стекла, то стекло загибает лучи и преломляет их или возвращает обратно и отражает. Это станет еще более очевидным, если сложить вместе две стеклянные призмы или два объективных стекла очень длинных телескопов, одно плоское, другое немного выпуклое, и сжать их так, чтобы они не совсем касались, но и не слишком отходили одно от другого. Свет, падающий на вторую поверхность первого стекла, там, где интервал между стеклами не больше стотысячной части дюйма, пройдет через эту поверхность и через воздух, или *Vacuum* между стеклами, и войдет во второе стекло, как было объяснено в первом, четвертом и восьмом наблюдениях первой части второй книги. Но если второе стекло убрать, свет, выходящий из второй поверхности первого стекла в воздух или *Vacuum*, не пойдет вперед, но вернется обратно в первое стекло и отразится; поэтому он увлекается назад силою первого стекла, ибо нет ничего другого, что могло бы вернуть его назад. Для получения всего разнообразия цветов и степеней преломляемости требуется только, чтобы лучи света были телами различных размеров, наименьшие из которых могли бы производить фиолетовый цвет, самый слабый и темный и легче всего отклоняемый преломляющими поверхностями от прямого пути; остальные лучи, по мере того как они становятся толще и толще, могут давать более сильные и светлые цвета — синий, зеленый, желтый и красный — и отклоняются все с большей трудностью. Для приведения лучей света в приступы легкого отражения и легкого прохождения требуется только, чтобы лучи были малыми телами, возбуждающими, благодаря их притягивательным или каким-либо другим силам, колебания в той среде, на которую они действуют: эти колебания быстрее, чем лучи, и последовательно обгоняют их, двигая их так, что попеременно скорости лучей увеличиваются и уменьшаются и получаются приступы [172]. И, наконец, необыкновенное преломление исландского кристалла весьма похоже на то, как будто бы оно производилось притягивающей силой

особого рода, расположенной по некоторым сторонам как лучей, так и частиц кристалла. Ибо если бы не существовало расположения или способности особого рода по некоторым сторонам частиц кристалла, отсутствующей по другим сторонам, которая склоняла и загибала бы лучи к краю необыкновенного преломления, то лучи, падающие перпендикулярно на кристалл, не преломлялись бы к этому краю больше чем к другим краям как при падении, так и при выходе; лучи выходят перпендикулярно вследствие противоположного положения края необыкновенного преломления на второй поверхности, причем кристалл действует на них после того, как они прошли через него и выходят в воздух, или, если угодно, в *Vacuum*. Поскольку кристалл при таком расположении или способности не действует на лучи, если одна из сторон лучей не направлена к краю необыкновенного преломления, постольку можно заключить о способности, или расположении, этих сторон лучей, отвечающей, или симпатизирующей, способности, или расположению, кристалла, как полюсы двух магнитов отвечают друг другу. И так же, как магнетизм может быть увеличен и ослаблен и находится только в магнитах и в железе, так и способность преломления перпендикулярных лучей больше в исландском кристалле, меньше в горном хрустале и совсем не находится в других телах. Я не говорю, что эта сила магнитная, она, повидимому, другого рода. Я говорю только, что как бы то ни было, трудно понять, каким образом лучи света, если они не являются телами, могут обладать по двум сторонам постоянной способностью, отсутствующей по другим сторонам, причем независимо от их положения в пространстве, или среде, через которую они проходят[173].

То, что я разумею в этом вопросе, говоря про *Vacuum* и притяжения лучей света к стеклу или кристаллу, может быть понято на основании сказанного в 18-м, 19-м и 20-м вопросах[174].

Вопрос 30. Не обращаются ли большие тела и свет друг в друга и не могут ли тела получать значительную часть своей активности от частиц света, входящих в их

состав? Ибо все твердые тела при нагревании испускают свет до тех пор, пока они продолжают быть достаточно горячими; свет же, взаимно, задерживается в телах, когда его лучи ударяются о части тел, как мы показали выше. Я не знаю тела менее способного к свечению, чем вода; однако при частой повторной дистилляции она изменяется в твердую землю, как показал мр. *Бойль*; эта земля, способная выдерживать достаточный жар, светится при нагревании подобно другим телам.

Превращение тел в свет и света в тела соответствует ходу природы, которая как бы услаждается[175] превращениями. Вода, являющаяся весьма жидкой, безвкусной солью, превращается теплом в пар, сорт воздуха, а при холоде — в лед, являющийся твердым, прозрачным, хрупким, плавящимся камнем; этот камень снова превращается теплом в воду, а пар переходит в воду при охлаждении. Земля при нагревании становится огнем и при охлаждении снова делается землей. Плотные тела при брожении разрежаются в различные сорта воздуха, и этот воздух при помощи брожения, а иногда и без него, снова превращается в плотные тела. Ртуть является иногда в форме жидкого металла, иногда в форме твердого хрупкого металла, иногда в форме едкой прозрачной соли, называемой сулемой, иногда в форме безвкусной прозрачной летучей белой земли, называемой *Mercurius dulcis*[176], или же в форме красной, темной земли, называемой киноварью, или же в форме красного или белого осадка или жидкой соли; при дистилляции она превращается в пар и при движении *in vacuo* светится подобно огню. После всех таких превращений она снова возвращается в свою первую форму ртути. Яйца растут, начиная от незаметных величин, и превращаются в животных, головастики — в лягушек и черви — в мух. Все птицы, животные и рыбы, насекомые, деревья и другие растения вырастают на воде в водяных настойках и солях и при гниении снова превращаются в водные субстанции. Вода при стоянии несколько дней на открытом воздухе выделяет настойку, которая (подобно солоду) при дальнейшем стоянии выделяет осадок и спирт, но

до начала гниения является пригодным питанием для животных и растений. И среди столь разнообразных и странных превращений почему же природа не может изменять тел в свет и света в тела[177]?

Вопрос 31. Не обладают ли малые частицы тел определенными возможностями, способностями или силами, при посредстве коих они действуют на расстоянии не только на лучи света при отражении, преломлении и огибании их, но также друг на друга, производя при этом значительную часть явлений природы? Ибо хорошо известно, что тела действуют друг на друга при помощи притяжений тяготения, магнетизма и электричества; эти примеры показывают тенденцию и ход природы и делают вероятным существование других притягательных сил, кроме этих. Ибо природа весьма согласна и подобна в себе самой. Я не разбираю здесь, каким образом эти притяжения могут осуществляться. То, что я называю притяжением, может происходить посредством импульса или какими-нибудь другими способами, мне неизвестными. Я применяю здесь это слово для того, чтобы только вообще обозначить некоторую силу, благодаря которой тела стремятся друг к другу, какова бы ни была причина. Ибо мы должны изучить по явлениям природы, какие тела притягиваются и каковы законы и свойства притяжения, прежде чем исследовать причину, благодаря которой притяжение происходит. Притяжения тяготения, магнетизма и электричества простираются на весьма заметные расстояния и таким образом наблюдались просто глазами, но могут существовать и другие притяжения, простирающиеся на столь малые расстояния, которые до сих пор ускользают от наблюдения, и, может быть, электрическое притяжение распространяется на такие малые расстояния и без возбуждения трением[178].

Ибо, когда виннокаменная соль растекается *per deliquium*[179], не происходит ли это благодаря притяжению между частицами виннокаменной соли и частицами воды, плавающими в воздухе в форме паров? И по какой иной причине не растекается *per deliquium* обыкновенная соль, селитра или купорос, кроме отсутствия такого

притяжения? Или почему виннокаменная соль не извлекает из воздуха воды более чем в определенной пропорции к ее количеству, как не благодаря отсутствию притягательной силы, после того как соль насыщена водою. И от чего иного, кроме этой притягательной силы, вода, которая одна дестиллируется на слабом умеренном жару, не дестиллируется из виннокаменной соли без большего жару? И не происходит ли от подобной же притягательной силы между частицами купоросного масла и воды то, что купоросное масло извлекает к себе большое количество воды из воздуха, после же насыщения более не извлекает, а при дестилляции отпускает воду с большим трудом? Когда вода и купоросное масло наливаются последовательно в один и тот же сосуд и смесь становится очень горячей, не свидетельствует ли это тепло о большем движении частей жидкости? И нельзя ли заключить по этому движению, что части двух жидкостей при смешении бурно соединяются и, следовательно, порываются друг к другу с ускоренным движением? Когда *Aqua fortis*[180] или купоросный спирт[129], вылитые на железные опилки, растворяют их с большим теплом и кипением, не производятся ли это тепло и кипение благодаря бурному движению частей и не свидетельствует ли это движение о том, что кислые части жидкости бурно стремятся к частям металла, насильно врываясь в его поры, пока они не очутятся между крайними частицами и главной массой металла; окружив эти частицы, кислые части отделяют их от главной массы и отпускают на свободу, так что они плавают в воде? И когда кислые частицы, дестиллирующиеся в отдельности на легком огне, не отделяются от частиц металла без очень сильного жара, не подтверждает ли это притяжения между ними?

Когда купоросный спирт, выливаемый на обыкновенную соль или селитру, закипает с солью и соединяется с нею и при дестилляции спирт обыкновенной соли или селитры выходит много легче, чем прежде, кислая же часть купоросного спирта остается, то нельзя ли отсюда заключить, что твердая щелочь соли притягивает кислый

спирт купороса более сильно, чем собственный спирт, и, не будучи способной удерживать их вместе, отпускает собственный спирт? Когда купоросное масло смешивается с равным весом селитры [180a], и из обоих ингредиентов дестиллируется сложный селитряный спирт, и две части этого спирта примешиваются к одной части гвоздичного масла, тминного масла или какого-либо иного тяжелого масла из растительных или животных веществ, или к терпентиновому маслу, уплотненному небольшим количеством серного бальзама, и при перемешивании становятся столь горячими, что испускают жаркое пламя, то не свидетельствует ли это очень большое и внезапное тепло, что эти две жидкости бурно смешиваются и части их при смешивании стремятся одна к другой ускоренным движением и ударяются с огромной силой? И не по этой ли причине хорошо очищенный винный спирт вспыхивает, если его вылить на этот сложный спирт, и *Pulvis fulminans*, составленный из серы, селитры и виннокаменной соли, разрывается более внезапно и бурно, чем ружейный порох, причем кислые спирты серы и селитры стремятся друг к другу и к виннокаменной соли с такой огромной силой, что при ударе они сразу и полностью обращаются в пар и пламя? Там, где растворение медленно, происходят медленное кипение и слабый жар; там, где это происходит быстрее, происходит большее кипение с бо́льшим теплом; и там, где это происходит сразу, кипение сжимается во внезапный порыв или бурный взрыв с таким же теплом, как у огня или пламени. Так, когда драхма вышеуказанного сложного селитряного спирта приливалась к половине драхмы масла из тминных зерен *in vacuo*, то смесь сразу вспыхивала подобно пороху и разбивала лишенный воздуха стеклянный приемник шести дюймов шириной и восьми дюймов глубиною. Даже грубо измельченная сера, при смешивании с равным весом железных опилок и небольшим количеством воды в пасту, действует на железо и в пять или шесть часов становится настолько горячей, что до пасты нельзя дотронуться, и испускает пламя. Сравнивая это с большим количеством серы, которой изобилует земля, с теплотой внутренних

частей земли, горячими источниками, огнедышащими горами, грозами, минеральными сияниями[181], землетрясениями, горячими удушливыми выдыханиями, ураганами, смерчами, мы можем заключить, что серные пары изобилуют во внутренностях земли, приходят в брожение с минералами, а иногда воспламеняются с внезапным блеском и взрывом; если они заперты в подземных пещерах, то разрывают эти пещеры, потрясая землю, как при взрыве мины. Горячие и удушливые пары, возникшие при взрыве, проникают через поры земли и вызывают бури и ураганы, иногда заставляют двигаться землю и кипеть море, унося оттуда капли воды, которые благодаря своему весу падают вниз в виде ливней. Некоторые серные пары поднимаются в воздух всегда, когда земля сухая, приходят там в брожение с селитряными кислотами и иногда воспламеняются, вызывая молнии и гром и огненные метеоры. Ибо воздух изобилует кислыми парами, готовыми способствовать брожениям, как это видно по появлению ржавчины на железе и меди в воздухе, по возгоранию огня при дутье, по биению сердца при помощи дыхания. Вышеупомянутые движения столь велики и бурны, что показывают, как при брожениях почти покоящиеся частицы тел вовлекаются в новые движения посредством весьма могущественного начала, действующего на них только при сближении и заставляющего их встречаться, ударяться с огромной силой, нагреваться вместе с движением, разбивать друг друга в куски и исчезать в воздухе, пару и пламени.

Когда виннокаменная соль, ставшая жидкой *per deliquium*, вливается в раствор какого-нибудь металла, она осаждает металл и заставляет его выпадать на дно жидкости в форме слизи. Не свидетельствует ли это о том, что кислые частицы притягиваются виннокаменной солью сильнее, чем металлом, и вследствие более сильного притяжения переходят от металла к виннокаменной соли? И также, когда раствор железа в *Aqua fortis* растворяет *Lapis Calaminaris*[182] и освобождает железо, или раствор меди растворяет железо, погруженное в него, освобождая медь, или раствор серебра растворяет медь и освобождает

серебро, или раствор ртути в *Aqua fortis*, при наливании на железо, медь, олово или свинец, растворяет металл, освобождая ртуть, — не свидетельствует ли это о том, что кислые частицы *Aqua fortis* более сильно притягиваются *Lapis Calaminaris*, чем железом, и более сильно железом, чем медью, более сильно медью, чем серебром, более сильно железом, медью, оловом и свинцом, чем ртутью? И не по этой ли самой причине железо для растворения требует больше *Aqua fortis*, чем медь, медь же — больше, чем другие металлы; при этом железо из всех металлов растворяется легче всего и легче всего ржавеет; а непосредственно после железа медь?

Когда купоросное масло смешивается с небольшим количеством воды или вбирает ее *per deliquium*, то при дестилляции вода возгоняется с трудом и уносит с собой часть купоросного масла в форме купоросного спирта; при наливании этого спирта на железо, медь или виннокаменную соль он соединяется с теплом и освобождает воду; не показывает ли это, что кислый спирт притягивается водою, но твердыми телами притягивается больше, чем водою, освобождая при этом воду для того, чтобы соединиться с твердым телом? И не по этой ли причине вода и кислые спирты, смешанные вместе в уксусе, *Aqua fortis* и соляном спирте, сцепляются и вместе возгоняются при дестилляции; но если растворитель вылить на виннокаменную соль, свинец, или железо, или иное твердое тело, которое он может растворить, то кислота вследствие более сильного притяжения пристает к телу и освобождает воду? И не от взаимного ли притяжения происходит то, что спирты сажи и морской соли соединяются и образуют частицы соли аммиака[185], которые менее летучи, чем раньше, так как они грубее и содержат меньше воды; частицы соли аммиака уносят частицы сурьмы, которая одна не возгоняется; частицы ртути, соединяясь с кислыми частицами соляного спирта, образуют сулему и с частицами серы киноварь; частицы винного спирта и мочевого спирта, хорошо очищенные, соединяются и, освобождая воду, их растворявшую, составляют тело

твердой консистенции; при возгонке киновари с виннокаменной солью или с негашеной известью сера, благодаря большему притяжению соли или извести, освобождает ртуть и остается с твердым телом; когда ртутная сулема возгоняется с сурьмой или сурьмяным корольком[184], соляный спирт освобождает ртуть и соединяется с сурьмяным металлом, который притягивает его более сильно и остается с ним до тех пор, пока жар не станет достаточно большим; тогда оба возгоняются вместе, и спирт уносит металл с собою в форме весьма легко плавящейся соли, называемой сурьмяным маслом, хотя соляный спирт в отдельности почти так же летуч, как вода, и сурьма в отдельности тверда, как свинец?

Если *Aqua fortis* растворяет серебро, но не золото, а *Aqua regia*[185] растворяет золото, но не серебро, то нельзя ли сказать, что *Aqua fortis* достаточно тонка, чтобы проникать в золото столь же хорошо, как в серебро, но ей нехватает притягивающей силы для внедрения, и что *Aqua regia* достаточно тонка, чтобы проникать в серебро столь же хорошо, как в золото, но ей нехватает притягивающей силы для внедрения? Ибо *Aqua regia* не что иное, как *Aqua fortis*, смешанная с некоторым количеством соляного спирта или соли аммиака; и даже обыкновенная соль, растворенная в *Aqua fortis*, делает жидкость способной растворять золото, хотя соль— твердое тело. Когда поэтому солевой спирт осаждает серебро из *Aqua fortis*, то не происходит ли это благодаря притяжению и смешению с *Aqua fortis* и непритяжению или, может быть, отталкиванию серебра? И когда вода осаждает сурьму из сублимата сурьмы и соли аммиака или из сурьмяного масла, то не происходит ли это благодаря растворению и смешению воды с ними и непритяженью или, возможно, отталкиванию сурьмы. И не ввиду ли отсутствия притягивающей способности между частями воды и масла, ртути и сурьмы, свинца и железа эти вещества не смешиваются; ртуть же и медь, благодаря слабому притяжению, смешиваются с трудом, а ртуть и олово, сурьма и железо, вода и соли, благодаря сильному притяжению, смешиваются легко? И вообще не по

тому ли самому принципу тепло соединяет однородные тела и разъединяет разнородные?

Когда мышьяк с мылом дает королек [186], а с сулемою ртути летучую плавкую соль, похожую на сурьмяное масло, то не показывает ли это, что мышьяк, являющийся веществом вполне летучим, составлен из твердых и летучих частей, сильно сцепленных взаимным притяжением, так что летучие части не могут возгоняться, не унося с собою твердые части? И так же, когда равные веса винного спирта и купоросного масла кипятятся вместе и при дестилляции дают два горючих и летучих спирта, не смешивающихся друг с другом, и остается твердая черная земля, то не показывает ли это, что купоросное масло составлено из летучих и твердых частей, сильно соединенных притяжением, так что они возгоняются вместе в форме летучей кислой жидкой соли до тех пор, пока винный спирт не притянет и не отделит летучих частей от твердых? И поэтому, поскольку серное масло *per campanam* [187] той же природы, как и купоросное масло, то нельзя ли заключить, что и сера — смесь летучих и твердых частей, столь сильно сцепленных притяжением, что они возгоняются вместе при сублимации. При растворении серного цвета в терпентиновом масле и дестилляции раствора найдено, что сера составлена из воспламеняющегося густого масла или жирной смолы, кислой соли, очень твердой земли и небольшого количества металла. Три первые части были найдены в несильно разнящихся количествах, четвертая же — в таком малом количестве, что едва ли заслуживает внимания. Кислая соль, растворенная в воде, одно и то же, что серное масло *per campanam*, и весьма изобилует в недрах земли, в особенности в марказитах [188]; она соединяется с другими ингредиентами марказита, каковы смола, железо, медь и земля, и составляет с ними квасцы, купорос и серу. С землею в отдельности она составляет квасцы, с металлом в отдельности или с металлом и землею вместе она составляет купорос и со смолою и землей составляет серу. Отсюда и происходит изобилие марказитов этими тремя минералами. И не от взаимного

ли притяжения ингредиентов происходит то, что они пристают друг к другу, составляя эти минералы, и что смола захватывает другие ингредиенты серы, которые без нее бы не возгонялись. Тот же вопрос может быть поставлен относительно всех, или почти всех, грубых тел в природе. Ибо все части животных и растений составлены из веществ летучих и стойких, жидких и твердых, как явствует из их анализа; и таковы же соли и минералы, поскольку химики были в состоянии до сих пор исследовать их состав.

Когда сулема ртути возгоняется еще раз со свежей ртутью, она становится *Mercurius dulcis* [176], являющейся белой безвкусной землей, едва растворимой в воде; *Mercurius dulcis*, вновь возгоняясь с соляным спиртом, превращается снова в сулему; когда металлы разъедаются небольшим количеством кислоты и превращаются в ржавчину, являющуюся безвкусной землей, нерастворимой в воде, и эта земля, смоченная большим количеством кислоты, становится металлической солью, когда некоторые камни, как, например, свинцовый шпат, растворенный подходящими растворителями, становятся солями, то не показывают ли эти предметы, что соли являются сухими землями и водными кислотами, соединенными притяжением, и что земля не станет солью без такого количества кислоты, которое сделает ее растворимой в воде? Не возникает ли острый и едкий вкус кислот от сильного притяжения, благодаря которому кислые частицы стремятся к частицам языка и движут их? Когда металлы растворяются в кислых растворителях, кислоты в соединении с металлом действуют иначе, так что соединение приобретает иной вкус, более мягкий, чем раньше, и иногда даже сладкий; не происходит ли это оттого, что кислоты пристают к металлическим частицам, теряя при этом значительную часть своей активности? Когда кислота находится в слишком малой пропорции, чтобы дать соединение, растворимое в воде, то не делается ли она неактивной, благодаря сильному прилипанию к металлу, и не теряет ли свой вкус, и не будет ли соединение безвкусной землей? Ибо такие вещества,

поскольку они не растворяются влагою языка, не действуют на вкус.

Подобно тому, как тяготение заставляет море течь вокруг более плотных и тяжелых частей земного шара, так и притяжение может заставить водянистую кислоту течь вокруг более плотных и компактных частиц землянистого вещества, приводя к составлению частиц соли. Ибо иначе кислота не выполняла бы назначения посредника [189] между землею и обыкновенной водой, так, чтобы соли растворялись в воде, виннокаменная соль не извлекала бы так легко кислоты из растворенных металлов, а металлы не отнимали бы кислоты от ртути. Так же, как на большом земном шаре наиболее плотные вещества вследствие их тяготения погружаются вниз, в воду, и стремятся к центру земного шара, так и в частицах соли наиболее плотная материя будет всегда стремиться к сближению с центром частицы. Частицу соли можно сравнить с некоторым хаосом: она плотна, тверда, суха и землиста в центре и разрежена, мягка, влажна и водяниста на поверхности. Отсюда, повидимому, проистекает стойкая природа солей, так как их трудно разрушить, если не извлечь силою их водяные части или не дать последним возможности просочиться в поры внутренней земляной части посредством легкого нагревания при гниении, пока земля не растворится водою и не разделится на меньшие частицы, каковые по причине их малости придают разложившемуся соединению черную окраску [190]. Отсюда, может быть, происходит и то, что части животных и растений сохраняют свои различные формы и усваивают пищу; мягкая и влажная пища легко изменяет посредством легкого нагревания и движения их ткани до тех пор, пока они не станут похожими на плотную, твердую, сухую и устойчивую землю в центре каждой частицы. Но когда пища непригодна для усвоения или центральная земля слишком слаба, чтобы ее усвоить, то движение обращается в смятение, гниение и смерть.

Если растворить очень небольшое количество какой-нибудь соли или купороса в большом количестве воды,

то частицы соли или купороса не опустятся на дно, хотя они тяжелее по роду своему, чем вода, но ровно разойдутся по всей воде, сделав ее столь же соленой наверху, как и на дне. Не значит ли это, что части соли или купороса отходят одна от другой и стремятся расшириться и разойтись, насколько позволяет вода, в которой они плавают? И не предполагает ли такое стремление отталкивательной силы у частиц, благодаря которой они разлетаются одна от другой, или по крайней мере того, что частицы сильнее притягивают воду, чем одна другую? Ибо так же, как в воде поднимаются все предметы, менее притягиваемые силою тяготения земли, чем вода, точно так же все частицы соли, плавающие в воде и менее чем вода притягиваемые другими частицами соли, должны отходить от этих частиц, направляясь к воде, притягиваемой сильнее.

Когда какая-нибудь соленая жидкость испаряется до тонкого слоя и охлаждается, то соль собирается в правильных фигурах. Это свидетельствует, что частицы соли до их затвердения плавали в жидкости на равных расстояниях по ряду и строю и, следовательно, действовали друг на друга с силою, равной на одинаковых расстояниях и неравной на различных. Ибо благодаря такой силе они сами установятся равномерно; без нее же, если они плавали беспорядочно, они и сойдутся вместе без порядка. Частицы исландского кристалла действуют на лучи все в одном направлении, вызывая необыкновенное преломление; поэтому нельзя ли предположить, что при образовании этого кристалла частицы не только установились в строй и ряды, застывая в правильных фигурах, но также, посредством некоторой полярной способности, повернули свои одинаковые стороны в одинаковом направлении[191]?

Части всех однородных твердых тел, вполне прикасающиеся друг к другу, сцепляются очень сильно вместе. Для объяснения этого некоторые изобрели атомы с крючками, оставляя вопрос без ответа; другие говорят нам, что тела связаны покоем, то-есть таинственным качеством, или, скорее, ничем; другие — что частицы

связаны согласованными движениями, то-есть относительным покоем между ними. Я бы скорее заключил из сцепления частиц о том, что они притягивают одна другую некоторой силой, которая очень велика при непосредственном соприкосновении и производит на малых расстояниях вышеупомянутые химические действия, но не простирается с значительным действием на большие расстояния от частиц.

Все тела, повидимому, составлены из твердых частиц, ибо иначе жидкости не затвердевали бы, как вода, масла, уксус, купоросный спирт или масло при охлаждении, ртуть посредством свинцового дыма, селитряный спирт и ртуть посредством растворения ртути и испарения слизи, винный спирт и мочевой спирт посредством обезвоживания и смешивания их, мочевой спирт и соляный спирт при получении аммиачной соли при их совместной возгонке. Даже лучи света, повидимому, твердые тела[192], ибо иначе они не удерживали бы различных свойств по различным сторонам. Поэтому твердость может полагаться свойством всякой несоставной материи. По меньшей мере это так же очевидно, как всеобщая непроницаемость материи. Ибо все тела, насколько показывает опыт, либо тверды либо могут быть сделаны твердыми; всеобщая же непроницаемость не имеет другого доказательства, кроме обширного опыта без исключений. Если, теперь, сложные тела столь тверды, как мы находим это для некоторых из них, и в то же время очень пористы, состоя из частей, только расположенных вместе, то простые частицы, лишенные пор и никогда еще не разделенные, должны быть значительно тверже. Ибо такие твердые частицы, собранные вместе, едва ли могут касаться друг друга больше чем в нескольких точках и поэтому должны разделяться силой значительно меньшей, чем нужно для того, чтобы разбить твердую частицу, части которой соприкасаются между собою во всем пространстве между ними без пор или промежутков, ослабляющих их сцепление. Весьма трудно понять, каким образом такие очень твердые частицы, только расположенные вместе и соприкасающиеся

в немногих точках, могут соединяться столь крепко между собою без помощи чего-либо вызывающего их притяжение или прижимание друг к другу.

То же самое я заключаю из сцепления двух полированных мраморов *in vacuo*, а также из подъема ртути в барометре на высоту в 50, 60 и 70 дюймов, или выше, когда ртуть хорошо очищена от воздуха и тщательно налита, так что ее части всюду соприкасаются друг с другом и со стеклом. Атмосфера своим весом вдавливает ртуть в трубку до высоты 29 или 30 дюймов, а некоторый иной агент поднимает ее выше, не вдавливая в трубку, но заставляя ее части приставать к стеклу и друг к другу. Ибо при всякой прерывности частей, получаемой либо от пузырьков воздуха, либо от встряхивания стекла, вся ртуть падает вниз до высоты в 29 или 30 дюймов.

Такого же рода, как эти, являются следующие опыты: если сложить вместе две плоские полированные пластинки стекла (например, два куска зеркального стекла) так, чтобы их стороны были параллельны и находились на очень малом расстоянии друг от друга, и затем нижние края погрузить в воду, то вода поднимется между ними. И чем меньше расстояние между стеклами, тем больше будет высота, на которую поднимается вода. Если расстояние около сотой части дюйма, то вода поднимется на высоту около дюйма; если расстояние будет больше или меньше в каком-либо отношении, то высота будет весьма точно обратно пропорциональной расстоянию. Ибо притягательная сила стекол одна и та же — больше или меньше расстояние между ними, и вес поднимаемой воды один и тот же, если высота воды обратно пропорциональна расстоянию между стеклами. Подобным же образом вода поднимается между двумя мраморными полированными плоскостями, когда их полированные стороны параллельны и находятся на очень малом расстоянии друг от друга. Если погрузить тонкие стеклянные трубки одним концом в стоячую воду, вода поднимется внутри трубок: высота ее подъема будет обратно пропорциональна диаметру полости трубки и будет равняться

высоте подъема между двумя стеклянными плоскостями, если радиус полости трубки равен расстоянию между плоскостями или около этого. Эти опыты удаются также *in vacuo*, как на открытом воздухе (как это было показано Королевскому Обществу), и поэтому на них не влияет вес или давление атмосферы[193].

Если наполнить длинную стеклянную трубку просеянной золой, хорошо спрессованной в стекле, и погрузить один конец трубки в стоячую воду, то вода медленно поднимется в золу настолько, что через одну или две недели достигнет высоты в 30 или 40 дюймов над стоячей водой. Вода поднимается до этой высоты только благодаря действию тех частиц золы, которые находятся на поверхности поднятой воды, частицы же золы внутри воды притягивают или отталкивают ее столь же сильно вниз, как и вверх. Поэтому действие частиц очень велико. Но частицы золы не столь плотны и тесно расположены, как в стекле; поэтому их действие не так сильно, как у стекла, удерживающего ртуть на высоте 60 или 70 дюймов и действующего поэтому с силой, которая удерживала бы поднятую воду на высоте более 60 футов.

По тому же принципу губка всасывает воду, а железы в телах животных — соответственно их различной природе и расположению — высасывают различные соки из крови.

Положим параллельно горизонту одну из двух плоских полированных стеклянных пластинок шириною в три или четыре дюйма и длиною в двадцать или двадцать пять дюймов, а другую пластинку на первую так, чтобы с одной стороны концы их соприкасались и они заключали угол в 10 или 15 минут. Смочим пластинки сначала с их внутренних сторон чистой тканью, погруженной в апельсиновое масло или в терпентиновый спирт, и пустим одну или две капли масла или спирта на нижнее стекло на другом конце. Если верхнее стекло опущено на первое так, что касается его одним концом, как указано выше, другим же концом соприкасается с каплей, составляя с нижним стеклом угол около 10 или 15 минут, то капля начнет двигаться к месту

соприкосновения стекол и будет продолжать двигаться ускоренным движением, пока не придет к месту соприкосновения стекол. Ибо оба стекла притягивают каплю и заставляют ее бежать по тому направлению, куда направлены эти притяжения. Если во время движения капли вы поднимете тот конец обоих стекол, на котором они встречаются и к которому движется капля, то она будет подниматься между стеклами и, следовательно, притягивается. Если вы будете поднимать стекла больше и больше, капля будет подниматься все медленнее, наконец она остановится, увлекаемая вниз своим весом настолько же, насколько она увлекается вверх притяжением. Таким способом вы можете узнать силу, посредством которой капля притягивается на всех расстояниях от места соприкосновения стекол.

При помощи опытов такого рода (произведенных мр *Хооксби*[194]) было найдено, что притяжение почти обратно пропорционально квадрату расстояния от середины капли до места соприкосновения стекол: просто обратно пропорционально, благодаря расширению капли и ее прикосновению к стеклам по увеличивающейся поверхности, и еще раз просто обратно пропорционально благодаря возрастанию притяжений при той же величине притягивающих поверхностей. Поэтому притяжение при той же величине притягивающей поверхности обратно пропорционально расстоянию между стеклами. Следовательно, там, где расстояние чрезвычайно мало, притяжение должно быть чрезвычайно большим. По таблице во второй части второй книги, где приведены толщины окрашенных пластинок воды между двумя стеклами, толщина пластинки в том месте, где она является очень черной, равна трем восьмым миллионной части дюйма. Притяжение же, вычисленное по предыдущему правилу для такой толщины в случае апельсинового масла между стеклами, повидимому, столь велико, что достаточно для удержания внутри круга, в один дюйм диаметром, веса, равного весу цилиндра воды диаметром в один дюйм и в два или три фурлонга[195] длиною. Там, где толщина меньше, притяжение может быть пропорционально больше,

продолжая увеличиваться до тех пор, пока толщина не будет меньше толщины отдельной частицы масла. Таким образом в природе существуют агенты, способные сжимать вместе частицы тел весьма сильными притяжениями. Обязанность экспериментальной философии их разыскать.

Мельчайшие частицы материи могут сцепляться посредством сильнейших притяжений, составляя большие частицы, но более слабые; многие из них могут также сцепляться и составлять еще бо́льшие частицы с еще более слабой силой — и так в ряде последовательностей, пока прогрессия не закончится самыми большими частицами, от которых зависят химические действия и цвета природных тел; при сцеплении таких частиц составляются тела заметной величины. Если тело плотное, способно изгибаться и подается внутрь под давлением, без скольжения его частей, — оно твердое и упругое и восстанавливает свою фигуру силою, возникающей от взаимного притяжения его частей Если части скользят одна по отношению к другой — тело ковкое или мягкое. Если части скользят легко и подходящего размера для движения посредством тепла, тепло же достаточно велико для поддержания частей в движении, — тело жидкое; если оно может прилипать к предметам, — оно сырое. Капли любой жидкости производят круглую фигуру вследствие взаимного притяжения их частей, так же как земной шар и море принимают круглую фигуру вследствие притяжения их частей тяготением

Поскольку металлы, растворенные в кислотах, притягивают небольшое количество кислоты, постольку их притягательная сила может простираться только на малое расстояние от них. И так же, как в алгебре, там, где исчезают и прекращаются положительные количества, начинаются отрицательные, так и в механике, — там, где прекращается притяжение, должна заступать отталкивательная способность. Существование такой способности следует, повидимому, из отражений и изгибаний лучей света. Ибо в обоих этих случаях лучи отталкиваются телами без непосредственного контакта с отражающим или огибаемым телом. Это следует, пови-

димому, также из испускания света; как только луч выбрасывается из светящегося тела вследствие колебательного движения частей тела и выходит за предел притяжения, он увлекается наружу с огромной скоростью. Ибо сила, достаточная для возвращения луча обратно при отражении, может быть достаточной и для испускания. То же следует, повидимому, из свойств воздуха и пара. Когда их частицы выбрасываются наружу из тел вследствие теплоты брожения, то, оказавшись за пределом притяжения тела, они отходят от него, а также друг от друга с большой силой, уходя на большие расстояния; иногда они занимают пространство в миллион раз большее, чем раньше, в форме плотного тела. Эти огромные сжатия и расширения кажутся непостижимыми, если вымышлять пружинные или ветвистые частицы воздуха или закрученные вроде обруча или еще каких-либо иных видов, но без отталкивательной силы. Частицы жидкости, которые сцеплены не слишком сильно и столь малы, что легко поддаются тем движениям, которые поддерживают текучесть жидкости, отделяются чрезвычайно легко и разрежаются в пар; на языке химиков они — летучи, разрежаясь на легком жару и сгущаясь на холоду. Но более грубые частицы, которые меньше поддаются движениям или сцеплены большим притяжением, не отделяются без большого тепла и, может быть, без брожения. Эти последние тела химики называют стойкими; разрежаясь при брожении, они становятся истинным, постоянным воздухом Частицы их, отходящие друг от друга с наибольшим трудом и с наибольшим усилием соединяемые вместе, при контакте сцепляются сильнее всего. Частицы постоянного воздуха грубее и возникают из более плотных веществ, чем частицы паров; поэтому истинный воздух тяжелее паров, и влажная атмосфера легче сухой при одном и том же количестве [196]. Той же отталкивательной силой, повидимому, объясняется то, что мухи бегают по воде, не замачивая ног; объективные стекла длинных телескопов лежат друг на друге без соприкосновения; сухие порошки с трудом приходят в соприкосновение друг с другом при соединении, если

их не сплавлять или не смачивать водой, которая соединяет их при испарении; два полированных мрамора, пристающие друг к другу при непосредственном контакте, с трудом могут быть соединены столь близко, чтобы получилось такое сцепление [197].

Итак, природа весьма схожа в себе самой и очень проста, выполняя все большие движения небесных тел при помощи притяжения тяготения, являющегося посредником между этими телами, и все малые движения частиц этих тел — при помощи некоторых иных притягательных и отталкивательных сил, связывающих эти частицы. *Vis inertiae* есть пассивный принцип, посредством которого тела пребывают в их движении или покое, получают движение, пропорциональное приложенной к ним силе, и сопротивляются настолько же, насколько сами встречают сопротивление. По одному этому принципу в мире еще не могло бы произойти движение. Был необходим некоторый иной принцип, чтобы привести тела в движение, и раз они находятся в движении — требуется еще один принцип для сохранения движения. Ибо из различного сложения двух движений вполне ясно, что в мире не всегда имеется одно и то же количество движения. Если два шара, соединенные тонким стержнем, вращаются вокруг их общего центра тяжести равномерным движением, в то время как центр равномерно движется по прямой линии, проведенной в плоскости их кругового движения, то сумма движений двух шаров в том случае, когда шары находятся на прямой линии, описываемой их общим центром тяжести, будет больше, чем сумма их движений, когда они находятся на линии, перпендикулярной к этой прямой. Из этого примера ясно, что движение может получаться и теряться. Но благодаря вязкости жидкостей, трению их частей и слабой упругости в твердых телах движение более теряется, чем получается, и всегда находится в состоянии уменьшения. Ибо тела абсолютно твердые и тела настолько мягкие, что лишены упругости, не отскакивают друг от друга. Непроницаемость заставляет их только останавливаться. Если два равных тела встречаются прямо

in vacuo по законам движения, они останавливаются там, где встретились, теряют все свое движение и остаются в покое, если только они не упруги и не получают нового движения благодаря упругости. Если упругости достаточно для того, чтобы они отскочили с четвертью, половиной или тремя четвертями силы, с которой они столкнулись, они потеряют четверти, или половину, или четверть своего движения. Это можно испытать на опыте, заставляя два одинаковых маятника падать друг на друга с равных высот. Если маятники из свинца или из мягкой глины, они потеряют все или почти все свое движение. Если маятники из упругих тел, они потеряют все, за исключением того, что вновь получат от своей упругости. Если скажут, что тела теряют только то движение, которое они сообщают другим телам, то следствием этого было бы то, что *in vacuo* они не могли бы терять движения и при встрече проходили дальше и проникали одно через другое. Если наполнить три равных круглых сосуда — один водою, другой маслом, третий расплавленной смолою — и привести жидкости в движение, так чтобы дать им вихревое движение, то смола вследствие своей вязкости быстро потеряет свое движение, менее вязкое масло будет удерживать его дольше и вода, еще менее вязкая, — еще дольше; однако все же и она потеряет его в короткое время. Отсюда легко понять, что если бы несколько соприкасающихся вихрей из расплавленной смолы были так же велики, как вихри, которые некоторые предполагают вращающимися вокруг Солнца и неподвижных звезд, то они и части их благодаря вязкости и густоте сообщали бы свое движение друг другу, пока все бы не остановились. Вихри из масла или воды или еще более текучей материи продолжали бы движение дольше; но если только материя не совершенно лишена вязкости и трения частей и способности передачи движения (чего нельзя предполагать), движение должно постоянно убывать. Мы видим поэтому, что разнообразие движений, которое мы находим в мире, постоянно уменьшается и существует необходимость сохранения и пополнения его посредством активных начал, —

такова причина тяготения, при помощи которого планеты и кометы удерживают свои движения в орбитах и тела приобретают большое движение при падении; такова причина брожения, при помощи которого сердце и кровь животных удерживаются в вечном движении и тепле, внутренние части земли постоянно нагреваются и становятся очень горячими в некоторых местах, тела горят и светятся, горы воспламеняются, подземные пещеры взрываются и Солнце продолжает быть необычайно горячим и сверкающим и согревает все тела своим светом. Мы встречаемся с очень немногими движениями в мире, кроме тех, которые обязаны этим активным началам. Если бы они не происходили от этих начал, то тела Земли, планет, комет, Солнца и всех вещей на них охлаждались бы, замерзали и становились неактивными массами; прекратилось бы всякое тление, рождение, растительность и жизнь, и планеты с кометами не оставались бы на своих орбитах.

При размышлении о всех этих вещах мне кажется вероятным, что бог вначале дал материи форму твердых, массивных, непроницаемых, подвижных частиц таких размеров и фигур и с такими свойствами и пропорциями в отношении к пространству, которые более всего подходили бы к той цели, для которой он создал их. Эти первоначальные частицы, являясь твердыми, несравнимо тверже, чем всякое пористое тело, составленное из них, настолько тверже, что они никогда не изнашиваются и не разбиваются в куски. Никакая обычная сила не способна разделить то, что создал сам бог при первом творении. Так как частицы продолжают оставаться целыми, они могут составлять тела той же природы и сложения на веки. Если бы они изнашивались или разбивались на куски, то природа вещей, зависящая от них, изменялась бы. Вода и земля, составленные из старых изношенных частиц и их обломков, не имели бы той же природы и строения теперь, как вода и земля, составленные из целых частиц вначале. Поэтому природа их должна быть постоянной, изменения телесных вещей должны проявляться только в различных разделениях и новых сочетаниях и движениях таких постоянных

частиц; сложные тела могут разбиваться не в середине твердых частиц, то там, где эти частицы [illegible]

Мне кажется, далее, что эти частицы имеют не только *Vis inertiae*, сопровождаемую теми пассивными законами движения, которые естественно получаются от этой силы, но также, что они движутся некоторыми активными началами, каково начало тяготения и начало, вызывающее брожение и сцепление тел. Я не рассматриваю эти начала как таинственные качества, предположительно вытекающие из особых форм вещей, но как общие законы природы, посредством которых образовались самые вещи; истина их ясна нам из явлений, хотя причины до сих пор не открыты. Ибо это — явные качества, и только причины их тайны. Последователи *Аристотеля* дают название скрытых качеств не явным качествам, но только таким, которые, как они предполагают, кроются в телах и являются неизвестными причинами явных явлений. Таковы были бы причины тяготения, магнитных и электрических притяжений и брожений, если бы мы предположили, что эти силы или действия возникают от качеств, нам неизвестных, которые не могут быть открыты и стать явными. Такие скрытые качества останавливают преуспеяние натуральной философии и поэтому отброшены за последние годы. Сказать, что каждый род вещей наделен особым скрытым качеством, при помощи которого он действует и производит явные эффекты, — значит ничего не сказать. Но вывести два или три общих начала движения из явлений и после этого изложить, каким образом свойства и действия всех телесных вещей вытекают из этих явных начал, — было бы очень важным шагом в философии, хотя бы причины этих начал и не были еще открыты. Поэтому я, не сомневаясь, предлагаю принципы движения, указанные выше, имеющие весьма общее значение, и оставляю причины их для дальнейшего исследования.

При помощи этих начал составлены, повидимому, все вещи из жестких, твердых частиц, указанных выше, различным образом сочетавшихся при первом творении по

замыслу разумного агента. Ибо тот, кто создал их, расположил их в порядке. И если он сделал так, то не должно философии искать другое происхождение мира или полагать, что мир мог возникнуть из хаоса только по законам природы; но, будучи раз созданным, мир может существовать по этим законам многие века. Ибо хотя кометы движутся по очень эксцентрическим орбитам во всевозможных положениях, слепая судьба никогда не могла бы заставить планеты двигаться по одному и тому же направлению по концентрическим орбитам, за исключением некоторых незначительных неправильностей, которые могут происходить от взаимных действий комет и планет друг на друга, способных нарастать за время преобразования системы. Столь чудесная однородность планетной системы должна предполагать действие выбора. О том же свидетельствует однообразие в телах животных; в общем случае они имеют подобно построенные правые и левые стороны и с каждой стороны тела две ноги сзади, спереди же на плечах либо две руки, две лапы либо два крыла, шею между плечами, переходящую внизу в спинной хребет, и голову на шее, на голове же два уха, два глаза, нос, рот и язык, сходно расположенные. Точно так же первый замысел столь искусных частей животного, как глаза, уши, мозг, мускулы, сердце, легкие, грудобрюшная преграда, железы, гортань, руки, крылья, плавательные пузыри, природные очки[199] и другие органы чувства и движения, также инстинкт животных и насекомых, — не могут быть проявлением ничего иного помимо мудрости и искусства могущественного, вечного агента; пребывая всюду, он более способен своею волей двигать тела внутри своего безграничного чувствилища и благодаря этому образовывать и преобразовывать части вселенной, чем мы посредством нашей воли можем двигать части наших собственных тел. И, однако, мы не можем рассматривать мир, как тело бога, или отдельные части его, как части бога. Он — единое существо, лишенное органов, членов или частей, и части мира — его создания, ему подчиненные и служащие его воле; он не является и душою мира, так же, как человеческая душа — не душа

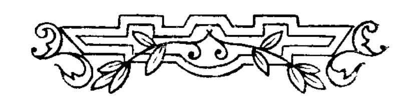
образов вещей, приносимых через органы чувства в место чувствования, где человек замечает их благодаря их непосредственному присутствию без вмешательства какой-либо третьей вещи. Органы чувств служат не для того, чтобы дать возможность душе заметить образы вещей в чувствилище, но только для подведения этих образов к нему. Бог не нуждается в таких органах, он присутствует всегда в самих вещах. И, поскольку пространство делимо *in infinitum* и материя не необходимо присутствует всюду, постольку можно допустить, что бог может создавать частицы материи различных размеров и фигур, в различных пропорциях к пространству и, может быть, различных плотностей и сил и таким образом может изменять законы природы и создавать миры различных видов в различных частях вселенной. По крайней мере я не вижу никакого противоречия во всем этом[200].

Как в математике, так и в натуральной философии исследование трудных предметов методом анализа всегда должно предшествовать методу соединения. Такой анализ состоит в производстве опытов и наблюдений, извлечении общих заключений из них посредством индукции и недопущении иных возражений против заключений, кроме полученных из опыта или других достоверных истин. Ибо гипотезы не должны рассматриваться в экспериментальной философии. И хотя аргументация на основании опытов и наблюдений посредством индукции не является доказательством общих заключений, однако это — лучший путь аргументации, допускаемой природой вещей, и может считаться тем более сильным, чем общее индукция. Если нет исключения в явлениях, заключение может объявляться общим. Но если когда-нибудь после будет найдено исключение из опытов, то заключение должно высказываться с указанием найденных исключений. Путем такого анализа мы можем переходить от соединений к ингредиентам, от движений к силам, их производящим, и вообще от действий к их причинам, от частных причин к более общим, пока аргумент не закончится наиболее общей причиной. Таков метод анализа, синтез же предполагает причины открытыми и установленными в качестве принципов;

он состоит в объяснении при помощи принципов явлений, происходящих от них, и доказательстве объяснений[201].

В двух первых книгах этой Оптики я пользовался таким анализом для открытия и доказательства изначальных различий лучей света в отношении к преломляемости, отражаемости и цвету, их попеременных приступов легкого отражения и легкого прохождения и свойств тел, как темных, так и прозрачных, от коих зависят их отражения и цвета. Поскольку эти открытия доказаны, они могут приниматься в методе соединения для объяснения явлений, происходящих от них. Один пример этого метода я даю в конце первой книги. В этой третьей книге я только начал анализ того, что остается открыть в отношении света и его действий в мироздании; я дал намек на некоторые предметы и оставляю эти намеки для исследования и усовершенствования дальнейшими опытами и наблюдениями тем, которые имеют охоту к исследованию. Если натуральная философия, следуя этому методу, станет наконец совершенной во всех своих частях, расширятся также границы нравственной философии. Ибо, насколько мы можем познать при помощи натуральной философии, что́ такое первая причина, какую силу имеет она над нами и какие благодеяния мы от нее получаем, настолько же станет ясным в свете природы наш долг по отношению к первой причине, а также друг к другу. И нет сомнения, что если бы поклонение ложным богам не затемнило язычников, их нравственная философия пошла бы далее четырех главных добродетелей и вместо учения о переселении душ, почитания Солнца и Луны и умерших героев они научили бы нас поклонению нашему истинному творцу и благодетелю, как это делали их предки в правление *Ноя* и его сыновей, до того как они развратились[202].

Конец.



ПОСЛЕСЛОВИЕ ПЕРЕВОДЧИКА

В XVIII веке Оптика Ньютона получила широкое распространение. Еще при жизни автора вышло 3 английских издания, 3 латинских и 1 французское. Много раз Оптика (в латинском переводе) переиздавалась в течение XVIII века. Оптические трактаты того времени являлись по существу обширными комментариями к книге Ньютона с длинными цитатами из Оптики (Пристлей, Смит, Био). В отличие от «Начал» эта книга Ньютона по изложению была понятна многим современникам и потомкам, а по содержанию являлась совершеннейшим образцом точного физического опыта, произведенного с минимальными средствами (несколько призм и линз). Но, pro captu lectoris habent sua fata libelli, победное шествие волновой теории Юнга — Френеля заставило забыть и сдать в историю трактат Ньютона. «Мы застаем это восьмое чудо света, — писал Гёте в 1808 г. (хотя и по другим соображениям), — покинутой руиной, грозящей обрушиться, и начинаем без промедления сносить крышу и верхушки, чтобы солнце хоть раз наконец заглянуло в старое гнездо крыс и сов...» В XIX веке Оптику помнили и знали только историки, и отдельные места этой книги кажутся совершенной новостью. В наше время [202a] волновая теория сама попадает в теснины фактов. Делаются попытки воскресить корпускулярную теорию или найти путь компромисса между корпускулярным и волновым воззрением, возникает потребность по-новому истолковать интерференцию, диффракцию и поляризацию. Оптика Ньютона приобретает в связи с этим неожиданную новизну и свежесть. Возможно, что этот особый интерес нашего времени к гипотезам Ньютона окажется недолговечным, однако несокрушимая экспериментальная основа Оптики имеет непреходящую ценность.

Из книг Ньютона на русский язык переведены: «Математические Начала Натуральной Философии», Петроград, 1915 (перевод акад. А. Н. Крылова) и «Замечания на книгу пророка Даниила и апокалипсис св. Иоанна», Петроград, 1915 (переводчик не указан). Перевода Оптики до сих пор не было. Отдельные большие цитаты переведены Гамалеей в «Сокращенной Оптике г. Шмита», СПБ, 1803 г. Мой перевод сделан с 3-го английского издания 1721 г., последнего, просмотренного Ньютоном; перевод в сомнительных местах сверялся с латинским, французским и

453—0

немецким переводами. Я стремился к точности передачи оригинала, пытаясь, поскольку возможно, избегнуть характера подстрочного перевода. В отношении стиля книга тяжела для современного читателя, чего трудно было избежать, не делая сокращений и не прибегая к модернизации. По выражению Гёте, «английский оригинал написан естественным, наивным стилем», который я и пытался сохранить.

В русском издании сохранены все особенности математической терминологии и обозначений Ньютона. Слишком непривычные места поясняются примечаниями; числа приводятся в оригинале иногда цифрами, иногда словами, причем словесное обозначение применяется в общем в тех случаях, когда нужно сообщить только порядок величин. Эта система не выдержана; во избежание произвола, в русском издании сохранена эта бессистемность, да не сочтет ее читатель издательской небрежностью. Слова, выделенные курсивом в оригинале, выделены и в переводе, латинские термины оригинала оставлены в тексте, перевод дан в примечаниях. Много затруднений представляет химическая терминология Ньютона: подобрать современные обозначения не всегда возможно, кроме того подменять перевод комментарием едва ли следует, поэтому в большинстве случаев сохранены старинные термины. Рисунки русского издания прочерчены прямо по фотографиям обветшалого оригинала и являются достаточно точной реставрацией подлинников. Воспроизводятся они в несколько уменьшенном масштабе.

В примечаниях содержатся различные исторические сведения, пояснения текста и некоторые замечания по существу трактуемого предмета. При составлении примечаний я пользовался главным образом следующими книгами:

1) The Philosophical Transactions of the Royal Society of London from their commencement in 1665 to the year 1800. Abridged, vol. I, II. London, 1809;

2) Th. Birch, The History of the Royal Society of London, vol. III. London, 1757;

3) J. B. Biot, Traité de Physique expérimentale et mathématique, t. 3, 4. Paris, 1816,

книгами, указанными в кратком жизнеописании Ньютона, и примечаниями, составленными В. Абендротом к немецкому переводу. Остальная литература указана в тексте.

Книга выпускается к 200-летию со дня смерти Ньютона, последовавшей 20 марта (ст. ст.) 1727 г. Печатание было начато несколько поздно, и я мог просмотреть только две корректуры. Ввиду этого не удалось избежать некоторых шероховатостей, неточностей и опечаток. К сожалению, и теперь приходится повторить слова, сказанные Ньютоном в письме к Котсу от 11 октября 1709 г.: «it's impossible to print the book without some faults».

С. Вавилов

Москва, март 1927 г.

453—Б

OPTICKS:

OR, A

TREATISE

OF THE

Reflections, Refractions, Inflections and *Colours*

OF

LIGHT

The Third Edition, Corrected

By Sir ISAAC NEWTON, Knt.

LONDON:

Printed for WILLIAM and JOHN INNYS at the West End of St. *Paul's* 1721

итульный лист третьего английского издания 1721 г.



ЖИЗНЬ НЬЮТОНА

Документы и предание сохранили довольно скудные сведения о многолетней жизни того «qui genus humanum ingenio superavit». Исаак Ньютон родился 25 декабря ст. ст. 1642 г., в год начала «великой гражданской войны» в Англии, и умер 20 марта 1727 г. Родина Ньютона — деревушка Вульсторп около г. Грэнтема в графстве Линкольн, в 150 километрах к северу от Лондона. В пределах этих 150 километров от Вульсторпа до Лондона с промежуточным пунктом Кэмбриджем и протекла вся жизнь Ньютона, дальше он никогда не выезжал. Отец Ньютона, тоже Исаак Ньютон, фермер из Вульсторпа, умер за несколько месяцев до рождения сына. Мать, Гарриет Эйскоу (Ayscough), была, повидимому, духовного происхождения. Маленький Исаак рос в среде фермеров, пасторов, провинциальных медиков, и выбор жизненного пути и определялся этими тремя профессиями. После сельской школы мальчика в возрасте 12 лет послали учиться в общественную школу в Грэнтеме, где он пробыл около двух лет. Оттуда мать вернула его на ферму — вести хозяйство. Эта деятельность оказалась, повидимому, малоуспешной; около 1658 года Ньютона по настояниям дяди возвращают в грэнтемскую школу, а 8 июля 1661 года он уже заносится в список студентов в Кэмбридже. Из детских и юношеских годов Ньютона мы знаем, по преданию, о его охоте ко всякого рода поделкам; он строил солнечные часы, маленькие водяные мельницы и пр., запускал змеи; книжные сокровища грэнтемского аптекаря Клэрка, да и самая аптека, вероятно, посвятили Ньютона в алхимические тайны; родственники пасторы и английские настроения этой эпохи вообще определили богословский уклон мысли Ньютона. К грэнтемскому периоду относится и единственное, по преданию, романическое увлечение Ньютона; он умер неженатым.

О студенческой жизни Ньютона сохранились только записи в официальных бумагах. Поступив в 1661 г., Ньютон в 1666 г. получает степень баккалавра и в 1668 г. становится магистром. Этих дат достаточно, чтобы судить об исключительной успеш-

ности Ньютона. Судьба послала Ньютону хорошего учителя и друга, молодого Исаака Барроу (Barrow, 1630—1677). Последний был энциклопедистом: путешественником, богословом, математиком, физиком и астрономом; «чтобы быть хорошим богословом, — говорил Барроу, — нужно понимать хронологию, для которой требуется знание астрономии, а для последней нужна геометрия». Безнадежно поэтому пытаться относить Ньютона к какому-нибудь «факультету». Он с одинаковым успехом претендовал на кафедру права и на Люкасовскую физико-математическую кафедру. Ньютон принимал непосредственное участие в издании лекций Барроу по математике и оптике, о чем последний и упоминает в предисловиях. В 1669 г. Ньютон получил Люкасовскую кафедру, переданную ему Барроу.

К периоду 1661—1668 гг. относится, повидимому, возникновение вчерне всех основных работ Ньютона: теории тяготения, оптических изысканий, открытие метода бесконечно малых. Во всех этих течениях мысли Ньютона нетрудно отыскать влияние, или стимул, исходящие от Барроу. В записных книгах Ньютона, относящихся к первым студенческим годам, есть пометки, показывающие, что уже в это время он занимался вопросами о квадратурах кривых, оптическими задачами, изучал способы шлифования линз, их ошибки и приемы исправления. В 1666 г. Ньютон покупает призмы для опытов со спектрами. В 1668 г. уже изготовлен первый отражательный телескоп Ньютона. В этом телескопе перекрещиваются, можно сказать, все основные линии последующих работ Ньютона. Задача изыскания преломляющих поверхностей, свободных от сферической аберрации, естественно приводила как Барроу, так и Ньютона к ряду геометрических и аналитических вопросов. Открытие хроматической аберрации телескопических стекол — исходный пункт оптических работ Ньютона. Наконец, астрономическое назначение телескопа непосредственно связано с астрономическими и механическими задачами.

В 1671 г. закончен постройкой второй отражательный телескоп, который становится известным в широких кругах, посылается на обозрение королю и сразу приносит славу Ньютону. В начале 1672 г. Ньютон избирается членом Королевского Общества, в трудах которого в этом же году появляется и описание телескопа. В связи с этим разгорается первая дискуссия о недостатках и преимуществах инструмента Ньютона, и возникают споры о приоритете. Спустя неделю после принятия его в число членов Королевского Общества Ньютон пишет секретарю Общества Ольденбургу о своем намерении сделать сообщение, «касающееся самого странного, если не самого важного открытия, которое делалось до сих пор в отношении действий природы». Это сообщение, «Новая теория о свете и цветах», докладывается Обществу 6 февраля 1672 г. Почти вплоть до 1675 г. тянутся непрерывные споры о новой теории и опытах Ньютона. У Ньютона развивается крайняя неприязнь к этим

пререканиям, основанным в большинстве случаев на неумелом повторении его опытов или на неправильном толковании теории. Однако в 1675 г. он представляет новый мемуар Обществу, в котором излагаются интерференционные опыты и предлагается гипотеза о природе света, являющаяся компромиссом волновой и корпускулярной теории. По отдельным местам этого мемуара и по письмам к Бойлю можно судить, что уже в это время Ньютон занимался вопросами тяготения. Чтение нового мемуара вновь сопровождается пререканиями с Гуком, и мемуар, надо думать по настоянию Ньютона, не печатается. Часть его опубликована только в 1704 г. в «Оптике».

О периоде от 1675 г. до 1687 г., года появления «Математических начал натуральной философии», мы знаем очень мало достоверного. Несомненно, главная работа Ньютона за это время была направлена к разрешению основных механических и астрономических задач, составивших содержание «Начал». Жизнь Ньютона за эти многие годы была совершенно однообразной: он читал лекции по оптике и математике, посещавшиеся весьма мало, вел непрестанную работу в химической лаборатории, производил новые оптические опыты, — жизнь в обычном смысле слова его не касалась. «Начала» были опубликованы только благодаря настойчивости Галлея. В «Началах» содержится в знаменитом «Поучении» и первый зародыш спора с Лейбницем о приоритете открытия метода бесконечно малых (метод флюксий Ньютона).

С изданием «Начал» кончился основной творческий период жизни Ньютона. В 1689 г. он избирается членом парламента от университета, методически заседает в палате, но не произносит там ни одного слова. Около 1692 г. происходит пожар в кабинете Ньютона, причем сгорает часть его рукописей. Возможно, что в результате этого и сильного умственного переутомления, вызванного работой над «Началами», у Ньютона замечается временное психическое расстройство. В 1695 г. Ньютон получает выгодное в материальном отношении назначение на пост заведующего монетным двором в Лондоне, куда и переселяется из Кэмбриджа. Внешнее благополучие и почести окружают Ньютона, неизбежно отвлекая его от продолжения научной работы. В 1699 г. Ньютон стал директором монетного двора. С 1703 г. он президент Королевского Общества. В 1705 г. он получает дворянство. Научная работа лондонского периода свелась, главным образом, к изданию «Оптики» (в 1704 г., через год после смерти Гука), написанной в основных частях не позднее 1687 года, к обработке теории движения Луны для новых изданий «Начал» и длинному спору с Лейбницем, в котором Ньютон принимал участие, главным образом, не непосредственно, но через учеников и Королевское Общество. В 1727 г. Ньютон скончался в тогдашнем предместье (ныне части) Лондона Кенсингтоне.

Здесь излишне и не место говорить о значении научного наследия Ньютона. До и после Ньютона никто еще не достиг большего в естествознании.

Единственное достаточно полное издание трудов Ньютона было выпущено еписк. С. Горслеем (Horsley) в 5 томах 1779—1785 гг. До сих пор остаются еще не напечатанными некоторые манускрипты Ньютона, хранящиеся теперь в университетской библиотеке Кэмбриджа и описанные в специальном каталоге: A Catalogue of the Portsmouth collection of Books and Papers written by or belonging to Sir Isaac Newton, the Scientific Portion of which has been presented by the Earl of Portsmouth to the University of Cambridge, 1888.

Наиболее подробные жизнеописания Ньютона или анализ его научной деятельности содержатся в следующих трудах:

1) J. Edelston, Correspondence of Sir I. Newton and Prof. Cotes, including Letters of other eminent men, now first published from the originals in the Library of Trinity Colledge, Cambridge; together with an appendix containing other unpublished Letters and papers on Newton, with Notes, Synoptical view of the Philosopher's Life, and a variety of details illustrative of his History. London and Cambridge, 1850.

2) Sir David Brewster, Memoirs of the Life. Writings and discoveries of Sir Isaac Newton. 2 vols. Edinburgh, 1855 and 1866.

3) Ferdinand Rosenberger, Isaac Newton und seine physikalischen Principien. Leipzig, 1895.

4) A. de Morgan, Essays on the life and work of Newton, edited by Ph. E. B. Jourdin, 1914.

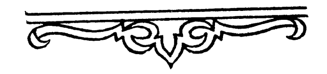
5) E. A. Burtt, The metaphysical foundations of physical science. London, 1925.

6) L. Bloch, La philosophie de Newton, Paris, 1908.

[7) С. И. Вавилов, Исаак Ньютон, изд. АН СССР, 1943; то же, изд. 2-е, просм. и доп., 1945.]

Подробная библиография ньютоновской литературы имеется в книге G. J. Gray, A bibliography of the work of Sir Isaac Newton together with a list of books illustrating his works. Second edition. Cambridge, 1907.

На русском языке имеется перевод биографии Ньютона Био Ремюза и самостоятельные биографии М. Филиппова, Н. Маракуева. Перевод хронологической канвы к жизни Ньютона из книги Эдельстона приложен к книге З. А. Цейтлина «Наука и гипотеза», 1926.



ПРИМЕЧАНИЯ

1. (К стр. 5.) На заседании Королевского Общества 18 ноября 1675 г. было зачитано письмо Ньютона к секретарю Общества Ольденбургу. В конце письма Ньютон предлагал прислать Обществу свое рассуждение о цветах. Ольденбургу было поручено благодарить Ньютона и просить выслать указанное рассуждение, когда ему будет угодно (Birch, III, 232). На заседании 9 декабря мемуар уже был получен. Он состоял из двух частей; первая озаглавлена: «Гипотеза, объясняющая свойства света, рассмотренные в нескольких моих мемуарах». Эта часть была зачитана на заседаниях 9 и 16 декабря. Вторая часть, содержавшая описание и толкование явлений тонких пластинок, читалась на трех заседаниях: 20 января, 3 и 10 февраля 1676 г. Письмом от 25 января Ньютон просил печатание мемуара отложить, предполагая добавить новые наблюдения над призматическими цветами (Birch, III, 280). В итоге мемуар никогда не был напечатан в Philosophical Transactions и впервые опубликован у Birch'a, History of the Royal Society, 1757, vol. III, pp. 247, 262, 272, 280, 296. В Оптику почти без изменений вошла вторая часть мемуара (1-я и 2-я ч. второй книги и 8 первых предложений третьей книги). Содержание первой части послужило частично материалом для «Вопросов».

2. (К стр. 5.) В начале 1703 г. умер непременный оппонент Ньютона Гук. В этом же году в Opuscula posthuma X. Гюйгенса была опубликована его Диоптрика. Как можно судить по предисловию к Lectiones opticae Ньютона, напечатанной в 1729 г., Ньютон считал часть Диоптрики Гюйгенса заимствованной из его оптических сочинений («Haec Newtoni inventa insigni geometrae Hugenio adeo placuisse jam compertum esset, ut magnam partem libri ejus de Dioptricis in hujus principia extruxisset»). [Т. е. «...открытия Ньютона до такой степени понравились знаменитому геометру Гугению, что он построил большую часть своей книги по диоптрике на принципах Ньютона».] По словам автора предисловия к Lectiones, этот случай и послужил главной причиной издания Оптики в 1704 г. О работе Ньютона над составлением Оптики около 1687 г., как об этом упоминается в предисловии, известно мало. Есть сведения,

что во время пожара в рабочей комнате Ньютона около 1692 г. сгорела часть оптических рукописей. То «остальное», что Ньютон относит к этому периоду, в значительной части содержалось в первом мемуаре Ньютона «Новая теория света и цветов», напечатанном в 1672 г. в Phil. Trans. Во всяком случае, Оптика постепенно составлялась в течение нескольких десятилетий.

3. (К стр. 5.) Ньютон подразумевает свои мемуары, замечания, полемику и письма, печатавшиеся с 1672 по 1676 г. включительно в Phil. Transactions. Мы пользовались переизданием Philosophical Transactions (от 1665 г. до 1800 г.) 1809 г. (The Philosophical Transactions of the Royal Society of London from their commencement in 1665 to the year 1800; abridged with notes and biographic illustrations by Charles Hutton, LL. D. F. R. S., George Schaw M. D. F. R. S. F. L. S., Richard Pearson, M. D. F. S. A. London, 1809).

После смерти Ньютона в 1729 г. были изданы его Оптические лекции, читанные в Кэмбридже в 1669, 1670 и 1671 гг. Приводим их точное заглавие: Isaaci Newtoni, Eq. Aur. in Academiâ Cantabrigiensi Matheoseos olim Professoris Lucasiani Lectiones Opticae. Annis MDCLXIX, XX et XXI in scholis publicis habitae et nunc primum ex MSS in lucem editae. Londini. Apud Guil. Innys, Regiae Societatis Typographiem. MDCCXXIX (XII + + 296 стр., 24 таблицы с фигурами). Лекции изданы по рукописи, сохранявшейся в архиве астронома Грегори, и сверены с подлинной рукописью Ньютона, найденной позднее в архиве Кэмбриджского университета. Авторы предисловия к Lectiones пишут, что Оптика 1704 г. мало отличается от лекций. Это верно только в отношении основного содержания. Форма в значительной части следует традициям учителя и предшественника Ньютона по кафедре — Барроу. Имеются математические доказательства, отсутствующие в Оптике. Некоторые опыты, подробно описываемые в Лекциях, в Оптике не приведены. Краткое содержание Лекций следующее. Часть I. О преломлениях лучей света. Раздел 1. Преломляемость лучей различна. Раздел 2. Об измерении преломлений. Раздел 3. О преломлениях на плоских поверхностях (в значительной части по Барроу). Раздел 4. О преломлениях на кривых поверхностях. Часть II. О происхождении цветов. Раздел 1. Изложение учения о цветах, проверяемое призматическими опытами. Раздел 2. О различных цветных явлениях. Некоторые места Лекций цитируются в дальнейших примечаниях.

[«Лекции по оптике» Ньютона переведены С. И. Вавиловым в 1946 г. См. № 13 в Списке работ С. И. Вавилова, посвященных И. Ньютону, стр. 366 настоящей книги.]

Все оптические сочинения Ньютона, за исключением мемуара 1675 г. и писем, собраны в падуанском издании 1749 г. в одном томе (на латинском языке).

4. (К стр. 5.) Оптика издана Ньютоном на английском языке. Известную роль при этом, повидимому, играло письмо

математика Уоллиса. Последний в 1695 г. писал Ньютону следующее: «Я слышал от мр. Caswell'a, что ваша книга о свете уже закончена. Если, как я слышал, она написана по-английски, то издавайте ее такой, как есть, и заставьте тех, которые захотят ее читать, научиться по-английски» (Rosenberger, Isaak Newton, p. 463). В 1706 г. появился, однако, латинский перевод, сделанный учеником Ньютона Clarke'ом и просмотренный автором. В 1720 г. вышел очень хороший французский перевод Coste'a. Немецкий перевод Abendroth'a появился в 1898 г.

5. (К стр. 6.) В последние годы XVII века спор о приоритете открытия анализа бесконечно малых начал разгораться. В связи с этим и находится приложение к первому изданию Оптики двух математических латинских трактатов Ньютона, опущенных в последующих изданиях. Трактат о Квадратуре кривых имеется в немецком переводе Ковальского (Ostwald's Klassiker, № 164).

6. (К стр. 6.) Лейбниц умер 14 ноября 1716 г. В новом издании Оптики математические трактаты, опубликованные для защиты приоритета Ньютона, естественно, были опущены. Наиболее горячая стадия спора закончилась, Ньютон формально вышел победителем. В первом издании Оптики содержались только первые 16 вопросов. Во втором появились остальные 15 и прежние значительно дополнены.

[Главнейшие математические работы Ньютона переведены на русский язык проф. Д. Д. Мордухай-Болтовским; ГТТИ, 1937 г.]

7. (К стр. 9.) В оптических сочинениях Ньютон всегда категорически отделял свою «теорию» цветов от произвольных гипотез. В мемуаре «Новая теория света и цветов» 1672 г. он пишет по этому поводу: «Я не буду смешивать домыслов (conjectures) с достоверностями». Возражение о. Пардису (Pardies) от 13 апреля 1672 г. кончается следующей фразой: «Я не буду превратно истолковывать того обстоятельства, что преп. отец называет мою теорию гипотезой, так как он с нею не ознакомился. Мое намерение совершенно отлично от этого, в моем мемуаре содержатся только некоторые свойства света, которые, после того как они открыты, полагаю, легко доказать. Если бы я не считал их достоверными, то скорее отбросил бы как пустые домыслы, чем признал их гипотезой». Отвечая на второе письмо Пардиса в том же году, Ньютон пишет: «Мне кажется, что наилучший и самый верный метод в философии — сначала тщательно исследовать свойства вещей и установить эти свойства опытами и затем уже постепенно переходить к гипотезам для объяснения их. Ибо гипотезы полезны только для объяснения свойств вещей, а не для определения их, по крайней мере, поскольку свойства могут быть установлены опытами. Если гипотезы могут устанавливать (test) истинность и реальность вещей, то я не понимаю, как может быть что-нибудь достовер-

ным в науке, ибо можно придумать многочисленные гипотезы, которые, повидимому, преодолевают все новые затруднения». Возражая Гуку в 1672 г., Ньютон показывает, как самые различные гипотезы могут быть согласованы с его теорией. «Вы видите поэтому, что нет нужды спорить о гипотезах», — кончает Ньютон эту часть возражения. Первая часть мемуара 1675 г. (ср. прим. 1) озаглавлена: «Гипотеза, объясняющая свойства света, изложенные в нескольких моих статьях». Во избежание неправильных толкований Ньютон пишет в этом мемуаре следующее: «Я нашел, что некоторые, которых я не могу убедить в моем мнении, говоря отвлеченно о природе света и цветов, легко согласились бы с ним, если бы я пояснил мое рассуждение какой-либо гипотезой. По этой причине я полагал уместным послать вам описание подробностей этой гипотезы, имеющей целью только пояснение мемуара, отправляемого вместе с сим. Я сам не буду принимать ни этой, ни какой-либо другой гипотезы, полагая, что меня не обязательно касается то, объясняются ли открытые мною свойства света этой гипотезой или гипотеза мр. Гука или другие могут объяснить их. Однако, излагая гипотезу, во избежание многословия и для более удобного представления ее, я буду иногда говорить о ней так, как будто бы я ее принял и верю в нее. Полагаю, что сказанного достаточно, чтобы никто не смешивал гипотезы с моими другими рассуждениями или судил об их достоверности по гипотезе или считал бы меня обязанным отвечать на возражения против настоящего мемуара. Ибо я желаю избегнуть вовлечения в такие недоразумения и пререкания, не имеющие значения». Приведенные цитаты доказывают, что знаменитая формула «не измышляю гипотез» во втором издании «Начал» 1713 г. всегда была правилом работы Ньютона. Ньютон умел «измышлять» гипотезы, о чем свидетельствуют прежде всего мемуар 1675 г., многие места Начал и Оптики, но оценивал их очень невысоко.

8. (К стр. 10.) Определение светового луча у Ньютона очень своеобразно. Опуская чисто геометрическую характеристику (ср. Опред. II текста), Ньютон определяет световой луч как минимальное *действующее* количество света. В неявной форме с самого начала проводится корпускулярная точка зрения.

9. (К стр. 10.) В мемуаре 1675 г. Ньютон писал: «Можно предполагать, что сам свет не столь быстр, как некоторые склонны думать. Мне неизвестно никакого аргумента, который противоречил бы тому, что для прохождения света от Солнца до нас требуется один-два часа, если не больше». В том же году опубликовано открытие О. Рöмера, впервые определившего скорость света из неравенств в затмениях спутника Юпитера. Рöмер нашел, что свет от Солнца до Земли должен распространяться 11 минут. Вскоре эта цифра была исправлена до 7 минут. Это значение и принято в Оптике. Неизвестны

основания, по которым Ньютон оценивал (приведенная цитата) время прохождения света от Солнца к Земле $>$ 1—2 часов. Экспериментальная неудачная попытка определить скорость света излагается в Discorsi Галилея (G. Galilei Opere, t. II, 506, Firenze, 1718) 1638 г. Там же имеется интересное рассуждение о скорости света в связи со способностью концентрированного солнечного света расплавлять металлы. «Должны ли мы верить, что такое бурное действие, — говорит Сагредо, один из участников диалога, — происходит без движения и притом быстрейшего?» Смысл этого замечания можно современными терминами пояснить так. По корпускулярной теории энергия света

$$E=\frac{Nmv^2}{2},$$

где N — число корпускул, m — масса каждой из них, v — скорость. «Масса» света Nm, во всяком случае, ничтожна, E, по замечанию Сагредо, очень велико, следовательно, скорость света v должна быть колоссальной.

10. (К стр. 10.) Понятие «отражаемости» лучей, основывающееся на явлении полного внутреннего отражения, по существу совпадает с понятием «преломляемости».

11. (К стр. 12.) Ньютон в Оптике, как и в Началах, понимает под словом аксиома в натуральной философии прочно установленный опытный факт, принцип, что и разъясняется в конце 8 аксиомы.

12. (К стр. 12.) Речь идет, очевидно, об обратимости световых лучей при преломлении (принцип взаимности). Если луч из точки A (в первой среде) приходит в B (во второй среде), проходя по пути через точку C (на границе раздела), то, обратно, луч, направленный из B в C, пройдет через A. Эта аксиома почему-то вызывает некоторые сомнения у других комментаторов (Abendroth), хотя при пользовании ею (конец 5-й аксиомы) Ньютон достаточно выясняет ее смысл.

[**12a.** (К стр. 12.) Зависимость показателя преломления от цвета подозревалась и другими исследователями. Так, Маркус Марци (1595—1667), профессор в Праге, высказывал мнение, что различно преломленные призмой лучи должны быть различно окрашены (Marcus Marci Thaumantias, Liber de arcu coelesti deque colarum apparentium natura. Praga, 1648). Впрочем, высказывания Марци страдают неясностью.]

13. (К стр. 16.) Пропорция $TQ:TE=TE:Tq$ в общепринятых обозначениях перепишется так: $\frac{a-f}{f}=\frac{f}{b-f}$ (a — расстояние светящейся точки от зеркала, b — расстояние изображения от зеркала, f — фокусное расстояние), что вытекает из формулы сферического зеркала.

14. (К стр. 17.) Обозначая показатель преломления $\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = n$, расстояния предмета и изображения от преломляющей поверхности соответственно через a и b и радиус $EC = R$, из условий

$$\frac{ET}{R} = \frac{Ct}{R} = \frac{\sin\beta}{\sin\alpha - \sin\beta} \quad \text{и} \quad \frac{TQ}{ET} = \frac{Et}{tq}$$

находим:

$$\frac{a - R\dfrac{n}{n-1}}{\dfrac{R}{n-1}} = \frac{R\left(\dfrac{n}{n-1}\right)}{b - \dfrac{R}{n-1}}.$$

Для случая падения параллельных лучей $a = \infty$, $b = \frac{R}{n-1}$.

15. (К стр. 17.) Условие $tq : tE = tE : TQ$ в тех же обозначениях, как в предыдущих примечаниях, перепишется так: $\frac{b-f}{f} = \frac{f}{a-f}$. Доказательство этих четырех теорем дано Ньютоном в «Лекциях по оптике». Ньютон в Оптике систематически опускает математические доказательства, давая только результат.

16. (К стр. 19.) Склера.

17. (К стр. 21.) О состоянии геометрической оптики ко времени появления оптических работ Ньютона см., например, E. Mach, Die Prinzipien der physikalischen Optik, стр. 41 и сл., 1921.

18. (К стр. 22.) Гёте (Zur Farbenlehre: Sämtliche Werke, Propyläen Ausgabe, B. 21, S. 247) видит в этом месте опечатку, считая, что поперечная линия должна быть вертикальной и перпендикулярной к горизонту. Однако из фиг. 11 видно, что плоскость бумаги была расположена горизонтально.

19. (К стр. 24.) Гёте (ib., S. 250) обращает внимание на каемки, окружающие в особенности светлое изображение на рисунке Ньютона, происходящие, очевидно, от немонохроматичности света, рассеиваемого бумагой, о чем Ньютон в тексте далее упоминает, но не совсем ясно.

[**19** a. (К стр. 27.) См. «Лекции по оптике», часть I, раздел I, § 10; часть II, § 29 и часть III, предл. XXV.]

20. (К стр. 27.) Этот метод установки призмы на угол наименьшего отклонения сохранился и в современной спектроскопии.

21. (К стр. 29.) Неудача, постигшая Ньютона при попытке обнаружить влияние вещества призмы на длину спектра (дисперсия), объясняется, повидимому, тем, что в воде «для просветления» [а также для увеличения преломления, см. стр. 59] растворялось значительное количество тяжелого свинцового

сахара. Ошибочное утверждение Ньютона о постоянстве дисперсии имело роковые последствия, ибо привело его к заключению о невозможности ахроматизации линз. В 1676 г. Lucas сообщил Королевскому Обществу, что, тщательно повторяя опыты Ньютона с призмой, он систематически получал, что длина спектра была только в $3^1/_2$ раза больше ширины, у Ньютона же отношение равнялось 5. Отвечая на заметку Lucas'a, Ньютон *) сообщил свои новые опыты с двумя различными призмами:

	Углы преломления	Длина изображения
Первая призма	56°10′	$7^3/_4$
	60 24	$9^1/_2$
	63 26	$10^1/_3$
Вторая призма	54°0′	$7^1/_3$
	62 12	$10^1/_8$
	63 48	$10^3/_4$

Некоторое расхождение Ньютон приписывает небольшой разности в углах, влиянию рассеяния света и различию преломляющей способности.

По поводу опытов Lucas'a Ньютон писал: «Я твердо убежден в верности и точности моих собственных наблюдений». Ньютон не возвращался больше к вопросу о дисперсии и во всех изданиях Оптики повторял свои утверждения. Ошибочность их была опровергнута лишь после смерти Ньютона работами Л. Эйлера и построением ахроматических объективов (Холл, 1729; Долланд, 1757). [Конец этого примечания представляет высказывания С. И. Вавилова в кн. «Исаак Ньютон», 1943, стр. 54—56.]

[21 а. (К стр. 29.) См. «Лекции по оптике», часть I, раздел I, § 5.]

22. (К стр. 32.) Гримальди (1619—1663) (или Гримальдо) — один из немногих авторов, которых Ньютон упоминает в Оптике. Его книга Physico Mathesis de Lumine, Coloribus et Iride etc. Franc. Maria Grimaldo, I. S. Bononiae 1665 изучалась Ньютоном (рецензия на книгу Гримальди помещена в Phil. Trans. в 1672 г.) **) и оказала влияние на его экспериментальные работы. Можно думать, что до 1676 г. Ньютон не был, однако, знаком с книгою в оригинале, потому что во время полемики с Гуком в этом году он цитировал диффракционные опыты Гримальди по из-

*) Phil. Tr. abridged, v. 2, p. 339.

**) Phil. Tr. abridged, v. 1, p. 675.

ложению противника последнего О. Фабри. Теория цветов, изложенная в книге Гримальди, очень неопределенна. Гримальди склонялся в значительной мере к волновому воззрению, считая, что различные цвета соответствуют различным состояниям движения среды. Определенного представления о сложности белого света у Гримальди не было. Белый свет, по его мнению, мог превращаться в цветной соответственно изменению волнового движения. Цвета природных тел объяснялись размерами частиц и пор между ними, изменявшими вид движения света внутри тел. Главная ценность книги Гримальди — в открытии диффракции света (ср. E. Mach, l. c. и F. Rosenberger, стр. 30, l. c., W. Goethe, Sämtliche Werke, B. 22, Zur Farbenlehre, S. 179; Ann. de Ch. et de Phys., 2-ème série, t. X, p. 306).

23. (К стр. 37.) Приблизительная прямолинейность наклонного спектра, полученного Ньютоном с перекрещенными призмами, не является необходимым следствием того, что преломление в обеих призмах происходит одинаково. Единственное необходимое следствие — равенство длины первого спектра, полученного от первой призмы, проекции расстояния между крайними концами наклонного спектра на ось, перпендикулярную направлению первого спектра. Сама же форма второго спектра может быть весьма сложной (аномальная дисперсия). Прямолинейность наклонного солнечного спектра является поэтому выражением специального вида кривой дисперсии стекла для данного участка спектра.

24. (К стр. 41.) Шестой опыт — центральный опыт Ньютона, experimentum crucis, в котором, по выражению Гёте: «исследователь пытал природу, вымогая у нее признание в том, в чем сам он уже заранее был уверен». Таким считал Ньютон этот опыт в первые годы появления его теории (1672—1675) во время горячих споров и борьбы, предлагая всем оппонентам повторить именно этот опыт и на нем сосредоточить внимание. В Оптике особое положение этого опыта не подчеркивается.

25. (К стр. 51.) По выражению Маха (l. c., стр. 128), в опытах с полным внутренним отражением «Ньютон применяет очень искусный дидактический прием, опирая свою теорию на давно известное и неоспариваемое учение об отражении». Остроумный метод Ньютона разделения солнечного света на две половины различного спектрального состава помощью полного внутреннего отражения до сих пор получил малое применение.

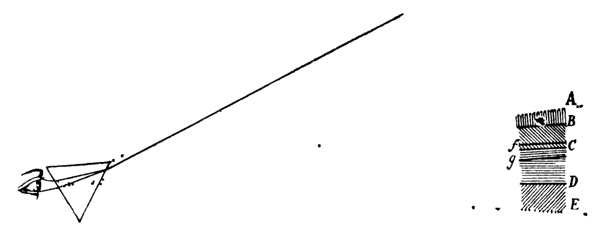
26. (К стр. 52.) Мы позволили себе в этом месте раздробить на несколько фраз очень длинный, трудно читаемый период оригинала.

27. (К стр. 52.) Гук через неделю после того, как было зачитано 8 февраля 1672 г. на заседании Королевского Общества первое сообщение Ньютона, указал, между прочим, что предложение второе не вытекает с неизбежностью из experimentum crucis. Для Гука постоянное наличие всех цветов в белом луче было столь же непонятно, как утверждение о том, «что все

тона орга́на содержатся уже в воздухе мехов». Он соглашается с тем, что лучи разной окраски соответствуют и разной преломляемости, но, по его мнению, разложение белого цвета является результатом возмущающего действия призмы на первоначальное волновое движение. Это возражение сохранило свою силу и по сию пору, приняв стройную форму «теории белого света» Гуи, Рэлея, Шустера и пр. С этой точки зрения призма только разлагает первоначальный импульс на гармонические составляющие. Но с тех пор, как выяснилась квантовая природа света, воззрение Ньютона получило снова некоторые права на существование. [Последняя фраза взята из кн. С. И. Вавилова «Исаак Ньютон», стр. 63, и заменяет конец примечания 27 к первому изданию «Оптики».]

28. (К стр. 53.) Ср. примечание 10.

29. (К стр. 58.) Здесь описывается коллиматорная установка, до сих пор применяющаяся в спектроскопии. Ньютон



Фиг. 1.

указывает оба основных приема повышения разрешающей способности спектроскопической установки: 1) уменьшение размеров предмета, сумма налагающихся изображений которого в разных цветах и составляет спектр; 2) удлинение спектра за счет увеличения преломляющего угла призмы. Трудно понять, каким образом Ньютон, производя опыты с узкими щелями (в опыте с трехугольной щелью с основанием около 2,5 *мм* ширина щели вблизи вершины измерялась долями *мм*) и широкоугольными призмами, не заметил черных линий в солнечном спектре. Эти линии открыты в 1802 г. Волластоном *). Приводим соответствующее место из мемуара Волластона. «Если впустить луч денного света в темную комнату через щель в $1^1/_4$ *мм* шириною и рассматривать его через флинтгласовую призму без свилей на расстоянии $3—3^2/_3$ *м*, то свет разлагается только на следующие 4 цвета: красный, желто-зеленый, синий и фио-

*) W. H. Wollaston, Phil. Trans. 365, 1802 г. Цит. по журн. Die Naturwissenschaften, 541, 1926.

летовый, как изображено на рисунке. Граница *A* спектра немного неясна. Линия *B* между красным и зеленым при определенном положении призмы вполне отчетлива, так же как *D* и *E*: границы фиолетового». Волластон считал черные линии «границами цветов». На воспроизведенном подлинном рисунке Волластона перед нами первое изображение «фраунгоферовых линий». Описывая далее мимоходом прерывные спектры в синей части пламени свечи и электрической искре, Волластон замечает: «Впрочем, бесполезно подробнее описывать явления, меняющиеся в зависимости от яркости света и объяснение которых я не могу принять на себя». Может быть, такие же соображения заставили и Ньютона умолчать о черных линиях солнечного спектра.

30. (К стр. 59.) Свинцовый сахар. Ср. примечание 21.

[**30** а. (К стр. 61.) См. «Лекции по оптике», часть I, раздел II].

31. (К стр. 61.) Открытие закона преломления приписывается Виллеброрду Снеллиусу (Willebrord Snellius, 1591—1626) и Декарту (René Descartes, 1596—1650). [Снеллиус установил закон преломления из опыта около 1621 г. Сочинение Снеллиуса не было опубликовано, но о нем упоминает Гюйгенс, который видел рукопись Снеллиуса и предполагал, что она была также известна Декарту. Декартом закон преломления в современной форме найден около 1630 г. и опубликован в его Диоптрике (1637 г.). Попытку Декарта теоретически обосновать закон преломления Мах называет «ужасающим примером схоластического метода доказательства» (E. Mach, l. c., стр. 48). Мнение Гюйгенса, что Декарт заимствовал свой закон у Снеллиуса], повидимому, ошибочно (ср. P. Kramer, Descartes und das Brechungsgesetz des Lichtes, ZS. f. Mathem. u. Physik, 1882, Supplement zur historisch-liter. Abtheilung, S. 233).

32. (К стр. 63.) Отрезки $3tT$, $3pP$ и т. д. пропорциональны тангенсам углов отклонения во второй призме. Если опыт производился при угле наименьшего отклонения, то последний $\delta = 2\ (i - r)$. Следовательно, на опыте тангенс угла отклонения $\operatorname{tg} 2\,(i - r)$ равнялся некоторому значению a, откуда, если обозначить

$$\frac{1}{a} + \sqrt{\frac{1}{a^2} + 1} = A, \quad \text{то} \quad \frac{\sin(i - r)}{\cos(i - r)} = A.$$

Положение, доказываемое 15 опытом, что отношение синусов углов преломления для двух лучей разной цветности постоянно при одинаковом угле падения, в сущности доказано уже в опыте 5.

33. (К стр. 64.) Действующая сила преломляющего тела предполагается перпендикулярной к поверхности, потому что только при нормальном падении тела не происходит изменения его направления. Доказательство предложения, приводимого

в тексте, таково. Обозначим скорость падающего тела v_i, тела выходящего — v_e (v_i и v_e — векторы). Нормальная слагающая v_e, $v_{en} = \sqrt{v_e^2 - v_{ep}^2}$, где v_{ep} — слагающая, параллельная поверхности. С другой стороны, $v_{in}^2 = v_i^2 - v_{ip}^2$. По условию, $v_{ip} = v_{ep}$; следовательно,

$$v_{ep}^2 = v_i^2 - v_{in}^2.$$

Вставляя это в написанное выше выражение для v_{en}, находим:

$$v_{en} = \sqrt{v_{in}^2 + (v_e^2 - v_i^2)}.$$

В том случае, когда нормальная слагающая падающего луча равна нулю, $v_{ip}^2 = v_i^2 = v_{ep}^2$. Обозначая величину нормальной слагающей при выходе в этом случае через v'_{en}, находим окончательно:

$$v_{en} = \sqrt{v_{in}^2 + v'^2_{en}},$$

в чем и заключается предложение.

34. (К стр. 65) Под неопределенным словом «движение» здесь понимается скорость света, которая согласно корпускулярной теории больше в плотной среде, чем в разреженной. Выражения $\frac{MC}{NG} \cdot CG$ и $\frac{AD}{EF} \cdot CF$ соответствуют поэтому скоростям в разреженной среде, умноженным на показатель преломления плотной среды. Вывод помещен в Началах (русский перевод акад. А. Н. Крылова, т. I, стр. 250 и след., Петроград, 1915).

35. (К стр. 65) Значок «q» соответствует возведению данного выражения в квадрат.

36. (К стр. 66.) В неявной форме в этой теории преломления предполагается корпускулярная теория света. Детальное развитие такой теории преломления можно, например, найти у Био (J. B. Biot, Traité de physique expérimentale et mathématique, tome 3-ème, Paris, 1816, pp. 255—324).

37. (К стр. 67.) Полная дисперсия стекла призм Ньютона была, следовательно, 1,56—1,54 = 0,02, т. е. такой же величины, как у кронгласа.

38. (К стр. 67.) Преломление: $\sin r - \sin i$.

[**38 а.** (К стр. 68.) См. «Лекции по оптике», часть I, раздел IV, предложение XXXVII.]

39. (К стр. 68.) Приводим эти расчеты для диаметра аберрационного круга и разности фокусных расстояний. Обозначим разность фокусных расстояний $f_r - f_v$ наименее и наиболее преломляемых лучей через Δf, диаметр круга аберрации —

через $2h$, диаметр линзы — через $2l$. Наиболее и наименее преломляемые лучи пересекутся по кругу с радиусом $h = \frac{\Delta f \cdot l}{f_v + f_r}$, как легко найти из простого построения. С другой стороны, $f = \frac{R}{2(n-1)}$, где R — радиус линзы, n — показатель преломления. Отсюда приближенно, полагая, что разность показателей преломления $n_b - n_r$ невелика, находим:

$$\Delta f = \frac{R}{2} \frac{\Delta n}{(n-1)^2};$$

с таким же приближением

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{\Delta n}{n-1}.$$

Подставляя это выражение в формулу для h, имеем приближенно:

$$h = \frac{\Delta n \cdot l}{2(n-1)}.$$

У Ньютона $\Delta n = 1{,}56 - 1{,}54 = 0{,}02$, среднее $n - 1 = 0{,}55$, откуда $\frac{2h}{l} = 0{,}0364 = \frac{1}{27^1/_2}$ и то же значение для $\frac{\Delta f}{f}$ (Δf относится к разности фокусов лучей наиболее преломляемых и лучей средней преломляемости).

40. (К стр. 68.) Обозначая через b_r, b_b, b расстояния изображения светящейся точки от линзы для красных, синих и средних цветов, через a — расстояние светящейся точки от линзы, можем написать теорему Ньютона следующим образом:

$$\frac{b_r - b_b}{\frac{\Delta n}{n-1} \cdot b} = \frac{a+b}{a}.$$

Теорема просто доказывается на основании формулы линзы.

41. (К стр. 72.) В оригинале это место не ясно. Чистый спектр, по Ньютону, должен быть резко ограниченным с красной и фиолетовой стороны. О возможности постепенного спадания интенсивности и перехода видимых областей в невидимые не было никаких подозрений. Размытые полукружия на концах спектра объяснялись, по Ньютону, наложением цветных кругов, центры которых были расположены около конца прямолинейных сторон, но *не переходили за эти концы*; в самих полукружиях новых центров уже не было. Центр всякого цвета внутри полукружий находится вне их, в прямолинейном спектре. В связи с этим нужно думать, что Ньютон измерял расстояние крайних

цветов не от действительного полукруглого конца спектра, но от его мысленного дополнения до окружности, о котором говорится в тексте.

[**41 а.** (К стр. 75.) См. «Лекции по оптике», часть I, раздел IV, предложение XXXI.]

42. (К стр. 76) Радиус светлого круга, получающегося вокруг точки пересечения лучей центрального узкого пучка, будет $\rho = KS^3$, где

$$K = \frac{(n-1)\left(\frac{1}{r}+\frac{1}{a}\right)^2\left(\frac{1}{r}+\frac{n+1}{a}\right)}{2n^2\left(\frac{n-1}{r}-\frac{1}{a}\right)},$$

где r — радиус кривизны линзы, a — расстояние светящейся точки от линзы; если, как в случае, разбираемом Ньютоном, $a = \infty$, то

$$K = \frac{1}{2n^2r^2} \quad \text{и} \quad \rho = \frac{S^3}{2n^2r^2}$$

в соответствии с формулой Ньютона:

$$\frac{1}{2}\left(\frac{R}{I}\right)^2 \cdot \frac{S^3}{D^2}$$

(см., например, О. Д. Хвольсон, Курс физики, т. II, стр. 274). Вывод формулы помещен Ньютоном в Lectiones Opticae I, sect. IV, prop. XXXI, причем получается ошибочный результат

$$\rho = \frac{R}{I}\frac{S^3}{D^3};$$

этот неверный результат фигурировал и в первых изданиях Оптики, но в третьем издании исправлен.

43. (К стр. 76.) Для полного решения задачи о распределении яркости по кругу аберрации нужно знать: 1) распределение энергии в спектре, 2) дисперсию стекла, 3) кривую чувствительности глаза. Мы не знаем, каким путем и с каким приближением получил Ньютон свой вывод. Обозначим через E_x и E_y плотность потока энергии в каких-нибудь двух местах круга аберрации, находящихся от центра на расстояниях x и y. По Ньютону, как видно из текста,

$$\frac{E_x}{E_y} = \frac{2y-x}{x}. \qquad (1)$$

Если сделать предположение, что энергия распределена по видимому спектру равномерно, и допустить равномерность дисперсии в стекле, то нетрудно показать, что в первом приближении

$$\frac{E_x}{E_y} = \frac{\log\left(\frac{h}{x}\right)}{\log\left(\frac{h}{y}\right)}, \qquad (2)$$

где h — радиус круга аберрации (ср. примечание 39); формулы (1) и (2) совпадают только на пределах, т. е. при $x = 0$ и h. Таким образом Ньютон, повидимому, учитывал в своей формуле неравномерность дисперсии. Вторая формула Ньютона в тексте, выражающая отношение количества света внутри меньшего круга к количеству света внутри большего круга:

$$\frac{\overline{AC}^2 - \overline{AB}^2}{\overline{AC}^2} = \frac{4yx - x^2}{4y^2}$$

получается из (1) интегрированием по кругу при постоянном y.

44. (К стр. 78.) Ньютон здесь, как и в других местах Оптики, ограничивается качественным понятием «ощутимости» или «яркости». Фотометрия совершенно не затрагивалась Ньютоном и разработана только после смерти Ньютона П. Бугером (Pierre Bouguer, 1698—1758).

45. (К стр. 80.) Хр. Гюйгенс. Ньютон в различных местах Оптики пользуется то латинизированной фамилией, то подлинной; мы сохранили эту двойственность. Гюйгенсу удалось изготовлять объективы с огромным фокусным расстоянием, которые были применены им в 1684 г. для телескопов без труб (télescopes aëriens). Об этом изобретении и говорит Ньютон.

46. (К стр. 81.) Первый рефлектор был построен Ньютоном в 1668 г., второй — в 1671 г. Описание рефлектора было опубликовано в Philosophical Transactions*) в 1672 г. (март). Телескопы Ньютона до сих пор сохраняются в Королевском Обществе. Изобретением рефлектора началась широкая слава Ньютона. После своей первой опубликованной работы Ньютон сразу был вовлечен в длинные принципиальные споры и пререкания о приоритете. Первая идея и проект рефлектора принадлежат Gregory, который описал в «Optica promota» (1663 г.) отражательный телескоп следующего устройства. Световые лучи падают на большое вогнутое зеркало с небольшим отверстием в середине. Лучи, отраженные от этого зеркала, попадают на другое вогнутое маленькое зеркало, помещенное в другом конце трубы (входное отверстие). Отсюда, отражаясь, они проходят через отверстие в большом зеркале и рассматриваются окуляром.

---

*) Philos. Trans. abridged., v. I, p. 713.

Аналогичный проект уже после опубликования работы Ньютона был предложен Cassegrain'ом. Ньютон не претендовал на честь открытия идеи рефлектора, но только на его первое осуществление.

47. (К стр. 81.) Т. е. в 1671 г.; эта часть Оптики написана около 1687 г.

48. (К стр. 81) В подлиннике — artist.

49. (К стр. 82.) Монета в 4 пенса.

50. (К стр. 83.) 1681—1682 гг.

51. (К стр. 84.) На фиг. 29 обозначения сделаны малыми прописными буквами, в описании же (в оригинале) Ньютоном применяются большие буквы.

52. (К стр. 86.) Теоремы, относящиеся к соотношениям длин и апертур рефракторов и рефлекторов, доказываются, например, в «Оптике» Smith'а (русский перевод «Сокращенная оптика г. Шмита», стр. 145, 1803 г., СПб).

53. (К стр. 87.) Последний абзац прибавлен только во втором издании Оптики и написан, вероятно, уже в лондонский период жизни Ньютона. В эпоху разработки телескопа-рефлектора Ньютон занимался и вопросом об усовершенствовании микроскопов. В мемуаре от 1672 г. Ньютон сообщает проект микроскопа-рефлектора. Объект, помещаемый перед сферическим зеркалом, рассматривается через окулярную линзу. Практического осуществления такой микроскоп не получил. В том же году в письме к Ольденбургу Ньютон предлагал усовершенствовать микроскопы-рефракторы, применяя для освещения объекта монохроматический свет.

54. (К стр. 89.) Теория цветов, сводящая их разнообразие к степени смешения «тьмы» со светом, безоговорочно господствовала до Ньютона со времен Аристотеля. В неявной форме ее высказывал даже Гук. И после Ньютона долгое время эта теория находила защитников (Гёте, натурфилософы).

55. (К стр 90.) Ср. примечание 21.

56. (К стр. 92.) Пучок белого света, в котором лучи различной цветности различным образом наклонены к падающей поверхности, развернется при отражении в спектр на основании закона отражения. При рассеивании белой матовой поверхностью характер развертывания и окраски определится законом рассеивания данной поверхности.

57. (К стр. 93.) Эта теорема — один из самых важных постулатов физической оптики. Открыв сложность белого света, Ньютон постулирует неизменяемость его простых составных лучей. Последующее развитие оптики внесло две существенные поправки к этому постулату. Воспринимаемая частота излучаемого, отражаемого или преломляемого света зависит от относительной скорости наблюдателя и излучающего (или отражающего и преломляющего) тела, причем $\nu = \nu_0\left(1 \pm \frac{v}{c}\right)$, где ν — воспринимаемая частота, ν_0 — частота при относительной ско-

рости $v = 0$, c — скорость света. В этом заключается принцип Допплера—Физо—Михельсона, подтверждаемый опытом. Опыты с рентгеновыми и γ-лучами показали, с другой стороны, что при рассеянии таких лучей легкими телами длина волны рассеянного света отличается от длины падающего на величину

$$\Delta\lambda = 0{,}0485 \sin^2 \frac{\Theta}{2} \text{ Å},$$

где Θ — угол между падающим и рассеянным лучом. Это ничтожное изменение заметно только у лучей с огромной частотой колебаний (эффект Комптона).

[В 1928 г. было установлено явление комбинационного рассеяния света, состоящее в изменении частоты рассеиваемого света на частоту собственных инфракрасных колебаний рассеивающего вещества.]

С какой точностью выполняется постулат Ньютона на опыте в видимой области спектра? У самого Ньютона, как видно из текста, критерием служит непосредственное наблюдение цветности. Изменение длины волны на несколько $m\mu$ уже с трудом воспринимается глазом в центральной части спектра. Таким образом, точность определения неизменности длины волны на глаз не больше десятых долей процента. О неизменности длины волны или частоты колебаний точнее всего можно судить по интерференционным явлениям. Рассмотрим, например, простейший интерференционный опыт Ллойда, в котором интерферируют лучи, идущие непосредственно, с лучами, отраженными по пути от зеркала. Пусть l_2 — расстояние точки отражения от точки интерференции, l_1 — расстояние от точки, в которой непосредственно идущий луч находился в момент отражения второго луча. Пусть отраженный луч испытывает изменение частоты — $\Delta\nu$. Постоянное изменение фазы при отражении для нас значения не имеет. Тогда световой вектор в точке интерференции будет иметь величину:

$$S = s_1 + s_2 = a \sin 2\pi\nu \left(t + \frac{l_1}{c}\right) + a \sin 2\pi (\nu - \Delta\nu) \left(t + \frac{l_2}{c}\right).$$

Если время когерентности лучей τ достаточно велико, а $\Delta\nu$ очень мало (например, несколько раз в секунду), то в результате написанного сложения волн с разными частотами возникнут «биения», которые скажутся в виде «бегущей» интерференционной картины, — интерференционные полосы будут перемещаться в поле зрения. Время когерентности, однако, очень мало, порядка 10^{-8} сек. При достаточно большом $\Delta\nu$ глаз будет воспринимать средний эффект. Средняя энергия в соответствующем месте интерференционного поля за секунду будет:

$$E = n \int_0^{\tau} (s_1 + s_2)^2 \, dt,$$

где n — число когерентных импульсов в секунду. Для видимой части спектра τ значительно больше $\frac{1}{\nu}$. Отсюда можно найти, что

$$E = A\left[1 + \cos 2\pi\left\{\frac{\Delta\nu\tau}{2} + \frac{\nu}{c}(l_1 - l_2) + \frac{\Delta\nu}{c}l_2\right\}\frac{\sin\pi\Delta\nu\tau}{\pi\Delta\nu\tau}\right], \quad (1)$$

где A — постоянная. В случае $\Delta\nu = 0$ мы получаем обычное распределение энергии в интерференционной картине:

$$E = A\left[1 + \cos 2\pi\frac{\nu}{c}(l_1 - l_2)\right] = 2A\cos^2\pi\frac{\nu}{c}(l_1 - l_2),$$

но если $\pi\Delta\nu\tau$ существенно отлично от нуля, полосы начнут размываться. Если $\pi\Delta\nu\tau$ значительно больше 1, второй член формулы (1) будет столь малым, что поле практически окажется равномерно освещенным. Бесчисленное количество интерференционных опытов с монохроматическим светом всегда сопровождалось положительным результатом, т. е. наличием резких полос. На опыте можно бы заметить размытость полос, соответствующую примерно $\pi\Delta\nu\tau = 0{,}1$. Если положить $\tau = 10^{-8}$, то предельное изменение частоты при отражении $\Delta\nu$, которое еще можно было бы заметить на опыте, будет иметь величину примерно $3 \cdot 10^6$. Частота колебаний желтого света около $5 \cdot 10^{14}$. Отсутствие размытости в интерференционной картине в опыте Ллойда свидетельствует, следовательно, что *частота или длина волны остается неизменной при отражении, по крайней мере с точностью до* $6 \cdot 10^{-9}$ *ее величины*. В интерференционных спектроскопах, например, Луммера и Герке, мы имеем дело с многократными отражениями — интерферируют, например, лучи, отразившиеся от стекла 1 и 21 раз, т. е. указанный предел можно еще понизить по крайней мере в 10 раз. С такой колоссальной точностью выполняется постулат Ньютона для видимых лучей при неподвижном источнике, зеркале и наблюдателе. (Ср. S. I. Wawilow, Phys. ZS. 26, 468, 1925, также А. А. Мазинг, ЖРФХО, ч. физ. 58, 141, 1926.)

58. (К стр. 95.) Настойка нефритового дерева содержала, вероятно, раствор великолепно флуоресцирующего эскулина. Эта особенность настойки впервые описана в 1570 г. испанским врачом Никколо Монардесом. Впоследствии ею занимались Бойль, Гримальди, Гук и др. Ньютон в Оптике неоднократно указывает на эту настойку, являвшуюся кажущимся противоречием его теории. Раствор чистого эскулина — бесцветный, настойка нефритового дерева у всех авторов, изучавших ее, была желтоватой (или красной в концентрированных растворах) в проходящем свете. Синяя флуоресценция эскулина возбуждается ближайшим к видимому ультрафиолетовым светом. Освещая настойку видимыми лучами, Ньютон не мог наблюдать

флуоресценции, так как эти лучи активным веществом не поглощаются. Помещая настойку в разные части спектра, Ньютон наблюдал, вероятно, слабый рассеянный свет от частиц, взвешенных в настойке. Если бы Ньютон поместил, хотя бы случайно, сосуд с настойкой в темную часть спектра, за фиолетовым концом, ультрафиолетовые лучи были бы открыты на 150 лет раньше, чем это случилось на самом деле. Обнаружение стоксовского смещения в XVII (да и в XVIII) веке было бы фактом, крайне трудно примиримым со стройной теорией Ньютона. Можно отметить, что Ньютон обходит молчанием в Оптике и явления фосфоресценции, которые приобрели широкую известность в ту эпоху (Бойль). Упоминание о «болонском камне» в первом издании вычеркнуто в последующих изданиях.

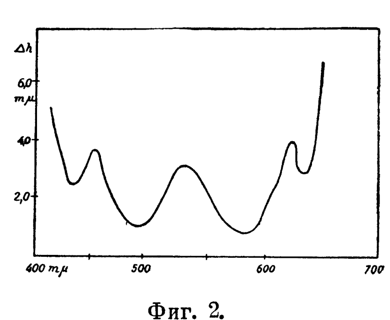
59. (К стр. 96.) В оригинале — sensorium.

[**59a.** (К стр. 96.) См. «Лекции по оптике», часть II, раздел II.]

60. (К стр. 97.) *Ключ* — основной тон; *тон* — секунда.

61. (К стр. 97.) Гамма Ньютона отличается от обыкновенной музыкальной тем, что вместо терции $\frac{5}{4}$ фигурирует малая терция $\frac{6}{5}$, а вместо септимы $\frac{15}{8}$ — чистая кварта от кварты $\frac{4}{3}\times\frac{4}{3}=\frac{16}{9}$. В других местах Оптики Ньютон пользуется иногда другой гаммой.

62. (К стр. 97.) Границы между цветами служили единственными постоянными точками в спектре при всех оптических опытах Ньютона. Насколько правильно отмечены эти границы? Положение их определяется в достаточной мере субъективно. В настоящее время для оценки различительной способности глаза применяют ту минимальную разницу длин волн $\Delta\lambda$ в $m\mu$, при которой в данной области спектра различение цветов как раз исчезает. На фиг. 2 приведена кривая различимости, полученная г-жей Штейндлер для ее глаза (O. Steindler, Sitzb. der Wiener Akademie, mathem. naturw. Klasse, T. 115, 1906). Границы между цветами на этой кривой, по нашему мнению, можно определить условием $\frac{d(\Delta\lambda)}{d\lambda}=0$, что



Фиг. 2.

соответствует максимумам и минимумам кривой различимости. По интерференционным опытам Ньютона мы знаем длины волн тех мест, где им определены границы между цветами (ср. примечание 88). В таблице сопоставлены длины волн максимумов и минимумов кривой Штейндлер и длины волн Ньютона для границ между цветами.

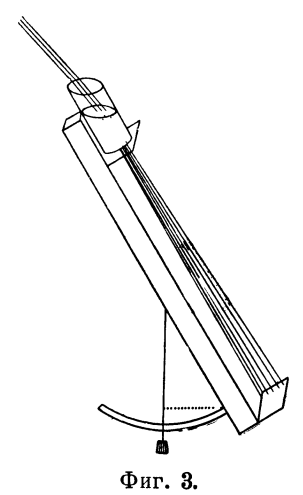
Штейндлер:	432 $m\mu$	453	491	529	577	617	630
Ньютон:	439 $m\mu$	459	492	532	571	596	645

Совпадение удовлетворительное, за исключением оранжево-красной части, что, может быть, в значительной мере объясняется малой дисперсией в этой области и субъективными особенностями глаза.

63. (К стр. 98.) Следовательно, границам цветов по Ньютону соответствуют такие показатели преломления в стекле:

1,5400; 1,5425; 1,5444; 1,5466; 1,5500; 1,5533; 1,5555; 1,5600.

Желание установить аналогию между семью тонами гаммы и семью цветами спектра — явный отзвук пифагорейских течений, столь увлекавших, например, Кеплера. Связь ощущений красного и фиолетового цветов через пурпуровый также наводила на мысль о некотором «созвучии» этих цветов, подобном созвучию октавы. Во всяком случае эта мысль упорно проводится во всей Оптике. Такая аналогия непроизвольно приводила к принципиальному отрицанию возможности различия дисперсии для разных тел.



Фиг. 3.

64. (К стр. 98.) В Lectiones Opticae (Sectio secunda, propositio XXVIII) Ньютон подробно описывает простой прибор для определения закона преломления, а также для нахождения показателя преломления разных цветов в воде (фиг. 3). На деревянной наклонной стойке имеются два выступа — внизу и недалеко от вершины. На верхнем деревянном выступе с отверстием приклеивается стеклянный сосуд, в который наливается вода. Наклон стойки определяется по отвесу и кругу с делениями. На нижнем выступе стойки развертывается спектр. Солнечные лучи падают на водяную призму, образовавшуюся в наклонном сосуде, и преломляются. В зависимости от наклона стойки преломление меняется. Перед нами примитивный спектрометр, приспособленный для жидких тел.

65. (К стр. 99.) Если $\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = n_1$; $\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_3} = n_2$; $\frac{\sin \alpha_3}{\sin \alpha_2} = n_3$, то отсюда $n_1 = n_3 \cdot n_2$.

[**65а.** (К стр. 100.) См. «Лекции по оптике», часть I, разделы III и IV, и часть II, раздел II.]

66. (К стр. 113.) Сурик.

67. (К стр. 114.) Viride aeris—ярь медянка $Cu(C_2H_3O_2)_2 \times \times 2CuH_2O_2$.

68. (К стр. 116.) Эти числа получены, повидимому, следующим образом. На основании ряда интервалов, применяемого выше (стр. 97):

$$1;\ \frac{8}{9};\ \frac{5}{6};\ \frac{3}{4};\ \frac{2}{3};\ \frac{3}{5};\ \frac{9}{16};\ \frac{1}{2},$$

Ньютон составляет ряд отношений последующего члена к предыдущему:

$$\frac{8}{9};\ \frac{15}{16};\ \frac{9}{10};\ \frac{8}{9};\ \frac{9}{10};\ \frac{15}{16},\ \frac{8}{9}.$$

Вычитая каждое из этих отношений из единицы, получаем:

$$\frac{1}{9};\ \frac{1}{16};\ \frac{1}{10};\ \frac{1}{9};\ \frac{1}{10};\ \frac{1}{16};\ \frac{1}{9}.$$

В тексте третье отношение с конца $\frac{1}{16}$, повидимому, опечатка; в латинском издании, просмотренном Ньютоном, эта опечатка исправлена, хотя во всех английских изданиях фигурирует отношение $\frac{1}{16}$. Нотные обозначения, приводимые Ньютоном параллельно числовому ряду:

соль, ля, фа, соль, ля, ми, фа, соль,

во всяком случае не соответствуют обозначениям, принятым теперь. Био (J. B. Biot, Traité de physique, tome 3-ème, p. 453, Paris, 1816) указывает, что во времена Ньютона одни и те же нотные обозначения часто употреблялись для разных интервалов. Сам Ньютон в различных местах Оптики применяет те же обозначения для различных интервалов. Во всяком случае неясность этого места Оптики привела к ряду затруднений физиков XVIII века. Одни считали, что Ньютон ошибся в числовом ряде, другие — в нотном. Интересующиеся подробной математической разработкой эмпирического правила Ньютона найдут его у Био (l. c., pp. 447—452). Учение о цвете, как самостоятельная наука, быстро развивается за последние годы. На рус-

ском языке см., например, перевод книги В. Оствальда «Цветоведение» (Москва, 1926). [См. М. М. Гуревич, Цвет и его измерение, М.—Л., АН СССР, 1950.]

[68а. (К стр. 124.) См. «Лекции по оптике», часть II, раздел II.]

69. (К стр. 125.) Цвет — результат смешения света с «тьмой». См. прим. 54.

70. (К стр. 127.) De radiis visus et lucis in vitris perspectivis et iride tractatus Marci Antonii de Dominis, per Ioannem Bartolum in lucem editus Venetiis 1611. Неизвестны основания исключительной обстоятельности этой одной из немногих цитат в Оптике. Трактат де Доминис содержал в себе, кроме теории радуги, первую попытку математической обработки традиционного воззрения на цвета как результат смешения темноты со светом. Выдержки из книги де Доминис дал в своем переводе Гете (Zur Farbenlehre. Historischer Teil). Может быть, Ньютон хотел оттенить заслуги де Доминис в ущерб Декарту, борьбе с которым посвящена добрая часть Начал. Может быть, особое почтение к де Доминис—традиция учителя Ньютона Барроу—и сохранилось со студенческих лет.

71. (К стр. 128.) Для какого угодно числа m внутренних падений угол отклонения δ, как легко видеть, выразится так (i — угол падения, r — угол преломления):

$$\delta = 2mr - 2i - (m-2)\,2\pi.$$

Налагая условие минимума, имеем:

$$d\delta = 0,$$

т. е. $2m\,dr = 2\,di$; из закона преломления, с другой стороны, находим:

$$di \cos i = n\,dr \cos r;$$

на основании условия минимума имеем:

$$m \cos i = n \cos r$$

и по закону преломления

$$\sin i = n \sin r.$$

Возводя в квадрат два равенства и складывая, находим:

$$\cos i = \pm \sqrt{\frac{n^2-1}{m^2-1}}.$$

(Ср. J. B. Biot, l. c., v. 3-ème, p. 465.)

72. (К стр. 134.) Побочные солнца.

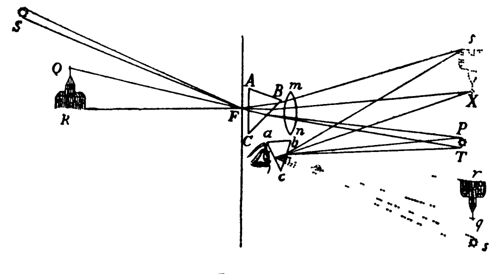
73. (К стр. 137.) Fathom — шесть футов.

74. (К стр. 138.) Опыт Гука, описанный им в «Микрографии», упоминался Ньютоном и в первом сообщении Королевскому

Обществу в 1671 г., где он был назван «неожиданным опытом». В Оптике при описании опыта Гука чувствуется недоброжелательство Ньютона к автору. Опыт называется теперь случайным, и заметно некоторое недоверие к результатам: «The reason of it (experiment) being then unknown; which makes me trust the more to his experiment». Изготовить два жидких, действительно «дополнительных», светофильтра не легко. Ньютону, как видно из текста, это не удалось. Сомнения в правильности опыта Гука высказывали Пардис и Люкас (Phil. Trans., 1672 г.) *). Последний наполнял два сосуда с параллельными стенками синей и красной жидкостью (окрашенная азотная кислота и терпентиновое масло) и, складывая их вместе, видел заметный проходящий свет. Ньютону оба раза, отвечая оппонентам, приходилось защищать опыт, который он сам не мог воспроизвести. Ньютон не экспериментировал в области избирательного поглощения жидкостей, хотя простой опыт внесения окрашенного стекла или жидкости в пучок света, падавшего на призму, привел бы его к открытию спектра поглощения. Ньютон ограничился теоретическим указанием на необходимость существования спектров поглощения.

75. (К стр. 138.) Из «Вопросов» третьей части можно понять, что в результате такого «тушения» света частицы вещества приходят в колебательное движение, соответствующее теплоте тела, т. е. Ньютон подразумевает «термическую» абсорбцию.

76. (К стр 141.) В Lectiones Opticae Ньютон дает еще вариант этого опыта. Линза отбрасывает изображение внешнего



Фиг. 4.

ландшафта на стену темной комнаты. Если между отверстием в ставне окна и линзой поместить призму, изображение благодаря спектральному разложению становится неясным. Рассматривая, однако, это неясное изображение через вторую призму, соответственно установленную, можно снова увидеть изображение ландшафта на стене вполне отчетливо.

*) Phil. Trans. abridged. vol. I, p. 729, 731, vol. II, p. 337.

77. (К стр. 145.) Содержание второй книги в значительной части (до Предл. VIII 3 ч.) воспроизводит вторую, экспериментальную, часть мемуара 1675 года (примечание 1). Некоторые разночтения указываются ниже.

78. (К стр. 145.) Цветами тонких пластин занимались Бойль, Гримальди и Гук. Неопределенная цитата «другие», возможно, объясняется нежеланием упомянуть лишний раз имя Гука, которым именно в этой области было сделано много. Книга Гука: Micrographia, or some Physiological Descriptions of minute Bodies появилась в 1665 г., и наблюдения, в ней описанные, сделаны, очевидно, независимо от Гримальди. Гук следующим образом толкует цвета тонких пластинок: «Если косо пустить луч на тонкую пластинку, то часть его отразится от первой поверхности, другая часть преломится ко второй поверхности, где снова отразится и преломится. После двух преломлений и одного отражения будет распространяться род ослабленного луча. Вследствие траты времени на блуждания вверх и вниз в пластинке, это ослабленное колебание подходит к первому отраженному колебанию так, что смешанное и удвоенное таким образом колебание, в котором впереди идет часть более сильная, а за ней следует слабая, вызывает на сетчатке ощущение желтого цвета. Если поверхности удалять дальше одну от другой, то ослабленное колебание совпадет со вторым, или следующим, колебанием, отраженным от первой поверхности, отставая от него, затем с третьим, четвертым, пятым, шестым, седьмым или восьмым. Таким образом, если у нас есть тонкое прозрачное тело, толщина которого возрастает от наибольшей пригодной для получения цветов до самых больших толщин, то цвета будут повторяться столь же часто, на сколько ступеней отстает ослабленное колебание от первоначального, или первого, колебания, совпадая с последующими». Толкование это — первый вариант теории интерференции. Волновая теория света Гука была своеобразной. Не имея определенных представлений о длине и амплитуде волны, Гук вводит в качестве переменной величины положение фронта волны относительно луча. Белый луч, по Гуку, соответствует нормальному направлению луча относительно фронта волны. Всякая же волна, наклонная к лучу, имеет способность, преломляясь, вызывать окраску, если с одной стороны она граничит с темнотою. Синий цвет соответствует волне, наклонный фронт которой идет ослабленной частью (граничащей с темнотою) вперед, красный — волне. у которой ослабленная часть идет сзади (ср. F. R o s e n b e r g e r, Isaak Newton, 40).

79. (К стр. 148.) Строки, следующие за этим до последних двух фраз абзаца, отсутствовали в мемуаре 1675 г.

80. (К стр. 149.) Отсюда до конца абзаца — фразы и рисунок, отсутствовавшие в мемуаре.

81. (К стр. 151.) Дальнейшее до наблюдения 7 добавлено в Оптике. В мемуаре за этим непосредственно следует расчет воздушных зазоров у колец.

82. (К стр. 154.) Цифры таблицы в Оптике исправлены в сравнении с мемуаром.

83. (К стр. 154.) Следующий абзац добавлен в Оптике.

84. (К стр. 155.) Из таблицы Ньютона легко видеть, что до угла преломления $r = 60°$ толщина слоя воздуха e' приблизительно пропорциональна $\sec r$: $e' = e \sec r$, или $e' = \frac{e}{\cos r}$; эта пропорциональность, однако, резко нарушается для больших углов r. Ньютон устанавливает в связи с этим такую эмпирическую зависимость:

$$e' = \frac{e}{\cos u},$$

где

$$\sin u = \sin r - a (\sin r - \sin \imath),$$

где $\imath$ — угол падения, $a = \frac{1}{106}$. Пользуясь законом преломления, условие, определяющее угол u, можно переписать так:

$$\sin u = \sin r - a (1 - n) \sin r,$$

$$\sin u = [1 - a (1 - n)] \sin r = K \sin r,$$

где n — показатель преломления из стекла в воздух; иначе говоря, угол u по Ньютону определяется так:

$$\sin u = \left(\frac{105 + n}{106}\right) \sin r.$$

(J. B. Biot, l. c., 4-eme vol., p. 29.)

85. (К стр. 156.) Отсюда до наблюдения 10 добавлено в Оптике.

86. (К стр. 158.) Отсюда до наблюдения 14 добавлено в Оптике.

87. (К стр. 159.) Отсюда до наблюдения 15 добавлено. В последних строках Ньютон отмечает отличие интерференционного (нормального) спектра от призматического.

88. (К стр. 159.) Относительно применяемого звукоряда ср. примечание 68. К сожалению, устанавливаемую Ньютоном и в этом месте аналогию между музыкальным рядом и цветами спектра трудно проверить, поскольку границы спектра и границы между отдельными цветами весьма субъективны (см. примечание 62) и в значительной мере зависят и от условий опыта. По данным Ньютона, средняя толщина воздушного слоя между линзами у первого кольца — $\frac{1}{178\,000}$ дюйма в случае освещения светом, лежащим на границе между оранжевым и желтым. Отсюда,

пользуясь известной связью, устанавливаемой в волновой теории цветов тонких пластинок между толщиной пластинки при первом кольце и длиною волны, легко вычислить длины волн в $m\mu$ для границ цветов спектра по данным Ньютона (ср. A. Winkelmann, Handbuch der Physik II, B. Erste Abt. S. 599, 1894).

Название цвета	λ по Ньютону	Прибл. истинн. знач. λ
Крайний фиолетовый	406 $m\mu$	393
Между индиго и фиолетовым . . .	439	426
» синим и индиго	459	454
» зеленым и синим	492	492
» желтым и зеленым	532	536
» оранжевым и желтым . . .	571	587
» красным и оранжевым . .	596	647
Крайний красный	645	760

Во втором столбце приведена оценка границ цветов по Füssner'y (A. Winkelmann, l. c). Расхождения в оранжево-красной части слишком велики, чтобы их можно было отнести за счет неточности субъективной оценки границ цветов. Возможно, однако, до некоторой степени проверить числа Ньютона и другим способом. В первой книге (стр. 98, прим. 63) даются показатели преломления для стекла призмы Ньютона, соответствующие границам цветов спектра. Пользуясь предыдущей таблицей, получаем такую связь между показателем преломления призмы Ньютона и длиною волны:

λ	406 $m\mu$	439	459	492	532	571	596	645
n	1,5600	1,5555	1,5533	1,5500	1,5466	1,5444	1,5425	1,5400

Для видимого спектра прозрачных твердых тел хорошо выполняется формула дисперсии Коши:

$$n = a + \frac{b}{\lambda^2} + \ldots$$

Мы можем, следовательно, сравнить эмпирические данные Ньютона с этой формулой. По двум волнам 459 $m\mu$ и 532 $m\mu$ и соответствующим n постоянные формулы Коши имеют такие значения:

$$a = 1{,}5270,$$

$$b = 5\,521{,}95 \cdot 10^{-14}.$$

В результате можем сравнить эмпирические значения показателя преломления с вычисленными по формуле Коши:

λ Ньютона	n опытн.	n вычисл.	Δn
406 $m\mu$	1,5600	1.5605	+0,0005
439	1,5555	1,5556	+0,0001
459	1,5533	1,5533	0,0000
492	1,5500	1,5500	0,0000
532	1,5466	1,5466	0,0000
571	1,5444	1,5440	—0,0004
596	1,5425	1,5426	+0,0001
645	1,5400	1,5403	+0,0003

Формула Коши по данным Ньютона хорошо выполняется. С другой стороны, если воспользоваться длинами волн по Füssner'у (второй столбец первой таблицы) и снова применить формулу Коши, то для $\lambda = 457$ $m\mu$ и 536 $m\mu$ получаем значения постоянных:

$$a = 1{,}5296,$$

$$b = 4886{,}63 \cdot 10^{-14},$$

при помощи которых можно составить такую таблицу:

λ Füssner'a	n опытн.	n вычисл.	Δn
393	1,5600	1,5612	+0,0012
426	1,5555	1,5566	+0,0011
454	1,5533	1,5532	+0,0001
492	1,5500	1,5498	—0,0002
536	1,5466	1,5466	0,0000
587	1,5444	1,5438	—0,0006
647	1,5425	1,5412	—0,0013
760	1,5400	1,5380	—0,0020

Расхождения очень велики. Дисперсионные данные Ньютона хорошо соответствуют, таким образом, его интерференционным наблюдениям.

89. (К стр. 160.) Фигура отсутствовала в мемуаре 1675 г.

90. (К стр. 160.) Ньютон называет слюду Muscovy Glass — московское стекло.

91. (К стр. 165.) Следующая за этим ссылка на эмпирическое правило отсутствовала в мемуаре и в первых английском и латинском изданиях.

92. (К стр. 167.) В оригинале lamp furnace.

93. (К стр. 169.) Вид ньютоновых колец через призму соответствует так называемым *ахроматическим* интерференционным полосам. Цветные кольца, видимые между линзами при непосредственном наблюдении, сливаются призмой в белые и черные круги благодаря различию углов падения на призму лучей от разных колец и дисперсии призмы. Современную теорию этого явления можно найти, например, в книге H. Bouasse et Z. Carrière, Interferences, 1923, p. 365, и в других книгах.

94. (К стр. 170.) «Замечания» следовали в мемуаре 1675 г. непосредственно за предыдущим изложением, без подразделения

95. (К стр. 170.) Ср. примечания 68 и 88.

96. (К стр. 175.) Таблица в Оптике очень сильно отличается от таблицы в мемуаре. Все цифры исправлены. Число оттенков в цветах первого порядка увеличено.

97. (К стр. 177.) Ср. примечание 78.

98. (К стр. 182.) В мемуаре 1675 г. это место читается так: «Для подтверждения всего этого нет нужды ссылаться на что-нибудь другое, кроме того, что все это доказуемо математически, на основании моих прежних принципов. Но для того чтобы те, кому приятно потрудиться, могли свидетельством своих чувств удостовериться, что эти объяснения не гипотетические, но непреложные, подлинные и истинные, я добавлю...».

99. (К стр. 185.) В мемуаре эта фраза читается так: «В этом отношении наука о цветах становится умозрением, более подходящим математикам, чем натуралистам». Современное развитие учения о цветах вполне подтверждает эту точку зрения Ньютона.

100. (К стр. 186.) Остроумная, но несостоятельная попытка Ньютона применить явления цветов тонких пластинок для объяснения окраски тел была первой такой гипотезой в истории оптики. Она была весьма естественной. Причудливые изменения окраски мыльных пузырей или слюдяных листочков в зависимости только от одного параметра — толщины прежде всего были использованы для объяснения окраски природных тел. Однако у Ньютона были данные и для построения совершенно иной теории. В тонких пластинках свет не исчезает, он выходит так или иначе наружу, сохраняясь полностью (ср. фиг. 49 текста). Между тем в Оптике Ньютон неоднократно, очень коротко, но ясно указывает, что внутри тел свет «тухнет», исчезает, превращаясь в тепло. Подробнее это воззрение излагается в «Вопросах». В связи с этой идеей истинного поглощения света, превращения его во что-то иное, вышеприведенные опыты с избирательным отражением и поглощением, казалось бы, неминуемо приводили к рациональному качественному истолкова-

нию одного из важнейших факторов, определяющих окраску тел. Однако Ньютон был крайне постоянен и устойчив в своих взглядах, и гипотеза, придуманная в 1675 г., без изменения перешла и в Оптику 1704 года. Авторитет Ньютона продлил ее существование и до XIX века (ср. J. B. Biot, l. c., 4-ème vol., p. 123). Гипотеза Ньютона сохраняет, однако, принципиальное значение для объяснения радужных цветов кристаллов, опалов и пр. (ср. Rayleigh, Phil. Mag., XXVI, pp. 256—265, 1888).

101. (К стр. 187.) Рациональное количественное изучение отражения света тесно связано с развитием фотометрии. Первые тщательные фотометрические измерения зависимости количества отраженного света от угла падения были сделаны Бугером (Traité d'Optique sur la gradation de la lumière. Ouvrage posthume de M. Bouguer, de l'Académie Royale des Sciences, etc. Paris, MDCCLX. [Имеется русский перевод под редакцией проф. А. А. Гершуна в серии «Классики науки», изд. АН СССР, 1950.] Ньютон прошел совершенно мимо задач и понятий фотометрии.

102. (К стр. 189.) Menstruum — растворитель. Последняя часть фразы в мемуаре 1675 г. отсутствует.

102a. (К стр. 189.) Гидрофан, SiO_2 с различным содержанием воды.

103. (К стр. 190.) В мемуаре за этим следовало: «В отношении отражения твердых тел можно далее добавить, что промежутки между частицами их не заполнены воздухом. Что в большинстве случаев это так, можно полагать, принимая во внимание неспособность воздуха проходить через малые отверстия; это явствует из подъема воды в тонких стеклянных трубках, в бумаге, ткани и других подобных субстанциях, поры которых слишком малы для заполнения воздухом и достаточно широки для воды; это же видно по трудности, с которой воздух проходит через поры бычачьего пузыря, через который вода свободно проникает. Согласно наблюдению одиннадцатому такие поры, не заполненные воздухом, будут вызывать в отношении отражения действия такого же рода, как и поры, заполненные им, однако более резко, так как по преломлению среда будет наиболее разреженной при отсутствии воздуха. Это доказано мр. Гуком в его „Микрографии". В этой книге он пространно рассуждает относительно данного и предыдущего предложения и сообщает другие прекрасные (very excellent) вещи относительно цветов тонких пластин и других естественных тел, которые я, не сомневаясь (not scrupled), применял, поскольку они подходили для моей цели». Первая часть цитаты выпущена потому, что Ньютон убедился в неправильности предложенного толкования капиллярных явлений (ср. вопрос 31, стр. 298). Ухудшение отношений с Гуком объясняет отсутствие второй, лестной для Гука половины цитаты.

104. (К стр. 191.) Объяснение дихроизма цвета «changeant» павлиньих перьев ошибочно. (Ср. R. Wood, Physical Optics, p. 439, 1911, также W. D. Bancroft, Newton and the Peacock,

Journ. of Phys. Chemistry XXVIII, p. 353, 1924.) [См. Р. Вуд, Физическая оптика, ОНТИ, 1936; А. А. Майкельсон, Исследования по оптике, гл. 15, М.–Л., Госиздат.]

105. (К стр. 194.) Химическая терминология Ньютона — наследие алхимии, и в ней не всегда легко разобраться. «Принципы» Парацельса «materia», «spiritus» (дух), «lux» (свет или огонь) и «качества», Меркурий, или ртуть, соответствующая водянистости, сера — маслянистости, соль (консистенции — твердости) применяются Ньютоном в различных сочетаниях и смыслах. Есть основания предполагать, что Ньютон занимался экспериментальной химией не меньше чем физикой, работал над «трансмутацией» металлов и пр.

106. (К стр. 196.) До конца абзаца текст добавлен по сравнению с мемуаром 1675 г.

107. (К стр. 199.) Ссылка на Герике отсутствовала в мемуаре.

108. (К стр. 201.) В мемуаре далее следовало небольшое предложение 9: «Весьма вероятно, что лучи, проникающие в твердые частицы любого тела, не отражаются, но останавливаются и теряются в теле». На этом мемуар и кончался.

109. (К стр. 203.) В своих опытах над магнетизмом Ньютон установил и закон взаимодействия двух магнитов (Начала), указав, что на больших расстояниях сила убывает приблизительно обратно пропорционально кубу расстояний, на малых — приблизительно по закону обратных квадратов (действие двухполюсного магнита).

110. (К стр. 204.) Прямолинейность распространения света была труднейшим пунктом в XVII и XVIII веках для всякой теории. В волновой теории непонятной являлась равным образом прямолинейность света в пустоте и в телах, и только Френель разрешил это затруднение. В корпускулярной теории крайне затруднительно было объяснить, каким образом лучи проходят по прямым линиям внутри таких тел, как алмаз. Критика корпускулярной теории в XVIII веке (ср. М. В. Ломоносов, Слово о происхождении света, новую теорию о цветах представляющее, июля 1 дня 1756 года говоренное; L. Castel, Le vrai systéme de physique generale de M. Isaak Newton, p. 430, Paris, 1743 и пр.) главным образом направлялась на этот пункт теории. Идея Ньютона об «иерархическом» распределении материи, изложенная в конце Предложения VIII, принципиально разрешала затруднение для корпускулярной теории, хотя Ньютон считает это затруднение одинаковым для любой теории и не защищает именно корпускулярного воззрения. Мысль о пустотах различных порядков в веществе (иерархическая система) близка к современным взглядам. Прямолинейное распространение внутри твердых тел таких «корпускул», как α-частицы и электроны, невозбранное прохождение электронов сквозь атомы аргона (опыты Ramsauer'а и Mayer'а) окрылили бы надеждами сторонника корпускулярной теории света в XVII и XVIII веках.

Последний абзац Предложения VIII отсутствовал в первом английском и латинском изданиях Оптики.

111. (К стр. 205.) Соответствующий чертеж в отличие от других фигур Оптики помещен в оригинале в тексте, а не на таблицах. Второй рисунок в тексте — изображение хода лучей в кристалле при двойном преломлении (часть III, вопрос 25).

112. (К стр. 205.) Снеллиус и Декарт. [См. прим. 31.]

113. (К стр. 206.) Под «движениями» Ньютон понимает скорости. Обозначим компоненты скорости луча, падающего под углом Θ: $v \cdot \sin\Theta$ и $v \cdot \cos\Theta$. Параллельная компонента остается неизменной, нормальная испытывает ускорения благодаря действию преломляющих сил. Предполагая в бесконечно тонком слое de преломляющую силу постоянной, можем написать такие выражения для параллельной и нормальной слагающей скорости внутри преломляющего тела в бесконечном слое:

$$v'_p = v \sin\Theta,$$

$$v'_n = v \cos\Theta + g\frac{dt}{2},$$

где g — переменное ускорение. С другой стороны,

$$dt = -\frac{v\cos\Theta}{g} + \frac{1}{g}\sqrt{v^2\cos^2\Theta + 2g\,de},$$

и следовательно

$$v'_n = \sqrt{v^2\cos^2\Theta + 2g\,de}.$$

Продолжая то же рассуждение для соседних бесконечно малых слоев, для конечного слоя получаем:

$$v'_n = \sqrt{v^2\cos^2\Theta + 2\int g\,de}.$$

Обозначая $2\int g\,de = u^2$, находим отсюда значение синуса преломления $\sin\Theta'$:

$$\frac{\sin\Theta}{\sin\Theta'} = n = \frac{\sqrt{v^2 + 2u^2}}{v},$$

откуда

$$\frac{2u^2}{v^2} = n^2 - 1.$$

Полагая, что притяжение пропорционально числу притягивающих частиц и, следовательно, плотности δ, можем написать, что выражение

$$\frac{2u^2}{v^3} = 2\int g \cdot de = G \cdot \rho,$$

откуда

$$\frac{n^2-1}{\rho}=G,$$

где n^2-1—преломляющая сила или способность тела (J. B. Biot, l. c., 3-éme vol., p. 255). Формула выведена Лапласом в Mécanique céleste и обыкновенно известна под именем формулы Лапласа.

114. (К стр. 207.) Разновидность горного хрусталя. Другое название — цитрин.

115. (К стр. 207.) Гипс.

116. (К стр. 207.) Железный купорос.

117. (К стр. 207.) Янтарь.

[**118.** (К стр. 208.) Исландский шпат, «странные» оптические свойства которого — огромное двойное лучепреломление — были открыты Бартолином (Erasmus Bartholin, 1625—1698) в 1670 г. (см. прим. 158) и подробно изучены и описаны Гюйгенсом (Christian Huygens, 1629—1695) в его знаменитом Traité de la lumière, ou sont expliquèes les causes de ce qui lud arrive dans la reflexion et dans la refraction. Et particulièrement dans l'etrange refraction du Cristal d'Islande, 1690 (имеется русский перевод под редакцией В. Фредерикса, Госиздат, М.—Л., 1935).]

119. (К стр. 208.) По преломляющей способности алмаза Ньютон, таким образом, угадал углеродную природу алмаза.

120. (К стр. 209.) Термин спирт (spiritus) имеет у Ньютона различные значения; иногда он применяется почти в буквальном смысле слова (spiritus — дух), как обозначение сущности данного вещества, — иногда в современном значении (винный спирт); спиртом называется также соляная кислота (соляный спирт) и пр. Иногда спиритусом называется газ или род эфира.

121. (К стр. 210.) Уверенность в тепловых действиях света возникала у оптиков XVII и XVIII веков на основании непосредственного наблюдения действия солнечных лучей. Открытие Гершелем инфракрасных лучей сразу поколебало эту уверенность, лучи разделили на тепловые и химические и только во второй половине XIX века поняли, что различие чисто количественного, а не качественного характера. Правильная и плодотворная идея о превращении света в энергию молекулярных тепловых движений, основанная на грубом суммарном наблюдении, была, таким образом, на долгий срок опрокинута благодаря более тонкому, но неправильно истолкованному опыту.

122. (К стр. 210.) 1675 г. Ср. примечание 9.

123. (К стр. 211.) Математические начала натуральной философии. Перевод академика А. Н. Крылова, книга III.

124. (К стр. 213.) Ньютон чисто опытным путем, независимо ни от какой гипотезы о природе света, доказал наличие строгой периодичности в свойствах светового луча. Это открытие Ньютона всецело принадлежит ему, никогда никем не оспаривалось, хотя это обстоятельство и сравнительно мало изве-

стно, особенно в наше время. Периодичность проявлялась в исчезновении света в некоторых местах (темные кольца) и в отражении в других. Ньютон вводит эмпирическое определение этой периодичности понятиями приступов легкого отражения и прохождения. В понятии приступа легкого прохождения есть, конечно, небольшой произвол, проверенный, однако, на опыте: темным кольцам в отраженном свете соответствуют светлые кольца в проходящем (фиг. 49 текста). Гримальди в своем трактате (примечание 22) высказал уже смелое положение: «Lumen aliquando per sui communicationem reddit obscuriorem superficiem corporis aliunde prius illustratam» (Physio-Mathesis, p. 187, Prop. XXII) (иногда свет, падая на поверхность, уже без того освещенную, делает ее более темной), опираясь на неправильно истолкованный опыт (ср. E. Mach, l. c., p. 187). Это положение впоследствии было доказано Юнгом. Для исчезновения света было, следовательно, и другое (интерференционное) объяснение, кроме «легкого прохождения», и в «определении» Ньютона скрывалась гипотеза, настолько, однако, очевидная в то время, что иначе Ньютон описать явления чисто эмпирически не мог. Идея интерференции волн высказывается в неявной форме в Началах по отношению к приливам (русский перевод, стр. 492).

Гипотеза, предлагаемая Ньютоном для желающих, происхождения давнего. Еще в 1672 г. во время полемики с Гуком Ньютон указывал Гуку, что колебания эфира одинаково полезны как для телесной, так и для волновой теории света. Частицы света, попадая на отражающие или преломляющие поверхности, необходимо должны возбуждать колебания эфира, точно так же как камень, брошенный в воду, вызывает колебания воды. Ньютон, несомненно, значительно яснее представлял себе волновое движение, чем его противники, приверженцы волновой теории, и в этом отношении сообщил им много поучительного и полезного (ср. F. Rosenberger, l. c., стр. 77 и сл.). Гипотеза, упоминаемая в тексте, приводилась и в первой части мемуара 1675 г. в столь же неразработанной форме. «Свет, по моему мнению, писал Ньютон, не следует определять ни как эфир, ни как колебательное движение эфира, но как нечто, распространяющееся от светящихся тел Это нечто можно считать либо группою различных перипатетических качеств, либо, еще лучше, множеством крайне малых и быстрых корпускул...» Для объяснения различных цветов может служить следующее. Световые лучи, в зависимости от их различных качеств, возбуждают на сетчатке глаза различные колебания, распространяющиеся по нервам в мозг. Гармония цветов, быть может, основана на гармонии этих колебаний (ср. постоянную аналогию солнечного спектра с музыкальным звукорядом). В «Вопросах» гипотеза Ньютона, являющаяся попыткой компромисса между волновой и корпускулярной теориями, фигурирует снова.

Последователи теории Ньютона делали и другие попытки объяснить «приступы», приписывая, например, световым корпускулам вращательное или колебательное движение (J. B. Biot, l. c., Theorie des oscillations des molecules lumineuses, 4-éme vol., p. 383).

Позиция Ньютона в Оптике, да и в остальных писаниях, в конце концов чисто эмпирическая. Он указывает недостатки волновой теории («Вопросы»), бо́льшие преимущества видит в теории корпускулярной, хотя и подчеркивает некоторые затруднения, но окончательно не принимает ни той, ни другой.

[См. «Оптические мемуары Исаака Ньютона», УФН, т. 7, вып. 2, 1927, в переводе и с примечаниями С. И. Вавилова.]

125. (К стр 213.) Слово «fit» можно бы определеннее перевести как «припадок», но «приступ» принят в русской физической литературе.

126. (К стр. 215.) Обозначая интервалы между приступами соответственно через i, i', имеем (примечание 84):

$$i' = \frac{i}{\cos r \cdot \cos u},$$

где

$$\sin u = \left(\frac{105 + n}{106}\right) \sin r$$

(J. B. Biot, l. c., 4-ème vol., p. 110).

127. (К стр. 215.) Ср. примечание 68.

128. (К стр. 216.) $i' = \frac{i}{n}$; n — показатель преломления в теории Ньютона равен отношению скорости света в среде к скорости света в пустоте. Отсюда непосредственно вытекает периодичность приступов во времени.

129. (К стр. 219.) Эти наблюдения, основательно забытые в наше время, являются совершенно исключительным образцом наблюдательности Ньютона и точности его эксперимента. Необходимое условие опыта — наличие диффузного света на внешней поверхности стекла. Герцог де Шольн (de Chaulnes), повторяя опыты Ньютона (Mém. Acad. Paris, 1755 г.), покрывал поверхность тонким налетом высохшего молока.

130. (К стр. 223.) Ср. примечание 68. Разности длин струны, приводимые в этом месте Оптики, соответствуют таким отношениям чисел колебаний струны:

$$1;\ \frac{9}{8};\ \frac{6}{5};\ \frac{4}{3};\ \frac{3}{2};\ \frac{27}{16},\ \frac{9}{5};\ 2,$$

откуда сами длины струны пропорциональны числам:

$$1;\ \frac{8}{9};\ \frac{5}{6};\ \frac{3}{4};\ \frac{2}{3};\ \frac{16}{27};\ \frac{5}{9};\ \frac{1}{2},$$

и, следовательно, разности длин:

$$\frac{1}{9};\ \frac{1}{18};\ \frac{1}{12};\ \frac{1}{12};\ \frac{2}{27};\ \frac{1}{27};\ \frac{1}{18},$$

как в тексте. Тому же самому музыкальному нотному ряду: соль, ля, фа, соль, ля, ми, фа, соль, который фигурировал и в предыдущих местах Оптики (ср. примечание 68), подчиняется теперь другой ряд числовых отношений: $\frac{27}{16}$ вместо $\frac{5}{3}$ и $\frac{9}{5}$ вместо $\frac{16}{9}$. Такая замена тем более странна, что и с прежним и с новым рядом отношение диаметров крайних кругов будет с достаточной точностью $\frac{3}{2}$, как в этом нетрудно убедиться. Можно думать только, что соответствующие места в Оптике написаны в разное время, а при издании сравнивались не особенно тщательно.

131. (К стр. 228.) Объяснение «диффузионных колец» Ньютона было указано Юнгом (Phil. Trans., 1802); полная теория дана Стоксом (Cambr. Phil. Trans., p. 147, 1851). Основное условие — интерференция двух когерентных лучей, рассеиваемых одной и той же частицей на первой мутной поверхности стекла. Один луч, например, проходит без рассеяния от светящейся точки до второй поверхности стекла, здесь отражается к первой поверхности и рассеивается, попадая на экран. Второй луч возникает при рассеянии когерентного луча той же частицей мутной поверхности. Этот рассеянный луч сначала идет до второй поверхности стекла, здесь отражается и в конце концов попадает на ту же точку экрана, как и первый луч Здесь и происходит интерференция при малой разности хода. Радиус колец определится по формуле

$$\rho^2 = \frac{\mu a^2}{e} \cdot n \frac{\lambda}{2},$$

где ρ — радиус кольца, μ — показатель преломления стекла, a — расстояние экрана до первой поверхности стекла, e — толщина стекла, n — целое число, λ — длина волны. Подробности см., например, в книге H. Bouasse et Z. Carrière, Interférences, p. 259, 1923. Развитие теории в духе Ньютона можно найти у Biot (l. c., 4-ème vol., p. 149). [См. также Р. В. Поль, Введение в оптику, § 42.]

132. (К стр. 230.) Обозначим толщину стекла в центре в случае перпендикулярного падения e, i — интервал между приступами; тогда:

$$e = \nu i,$$

где ν — целое число; толщину слоя для луча, выходящего несколько наискось, обозначим через e_x, причем число интервалов приступов i' пусть будет $(\nu - 2x)$, где x — целое число. Следовательно,

$$e_x = (\nu - 2x)\, i'.$$

По эмпирическому правилу Ньютона (ср. примечания 84 и 126)

$$i' = \frac{i}{\cos u \cdot \cos i},$$

где

$$\sin u = \left(\frac{105 + n}{106}\right) \sin i; \quad n = \frac{17}{11}.$$

На основании предыдущих равенств имеем, следовательно:

$$e_x \cos r \cdot \cos u = e - 2ix.$$

$e_x \cdot \cos r = e + z$, где z — очень малая величина в опытах Ньютона.

Нетрудно вычислить, что приближенно

$$z = \frac{e^2 \operatorname{tg}^2 r}{2a},$$

где a — радиус кривизны первой поверхности зеркала. Отсюда при помощи ранее написанных равенств, делая упрощения того же характера, как и прежде, можно вывести:

$$\sin r = 2 \sqrt{\frac{ix}{k^2 e - \frac{e^2}{a}}},$$

где

$$k = \left(\frac{105 + n}{106}\right).$$

По данным Ньютона, можно на основании этой формулы вычислить значения $\sin r$ и соответственно r:

$x = 0$	$r = 0'0''$	$\sin r = 0{,}000000$
$x = 1$	$r = 26'7''$	$\sin r = 0{,}007607$
$x = 2$	$r = 36'57''$	$\sin r = 0{,}010749$
$x = 3$	$r = 45'16''$	$\sin r = 0{,}013165$
$x = 4$	$r = 52'16''$	$\sin r = 0{,}015201$

Отсюда получаем такие цифры для вычисляемых по теории Ньютона диаметров колец (в дюймах):

№	Вычисл.	Набл.
1	1,6915	1,687
2	2,3922	2,375
3	2,9298	2,917
4	3,3831	3,375

(J. B. Biot, l. c., 8-ème vol., p. 162—167). С другой стороны, если вычислить по опытным данным Ньютона длину волны применявшегося «яркого желтого света», то получим $\lambda = 556$ $m\mu$ (H. Bouasse et Z. Carrière, Interférences, p. 262, 1923).

133. (К стр. 230.) Ньютон снова возвращается к прежнему числовому ряду отношений колебаний (ср. примечания 68 и 130).

134. (К стр. 231.) Ср. последнюю формулу в примечании 132 и примечании 131.

135. (К стр. 236.) Подробный анализ наблюдений 9—12 с точки зрения теории Ньютона см. у Био (J. B. Biot, l. c., 4-ème vol., p. 169—227.)

136. (К стр. 237.) Наблюдение относится к самому тяжелому периоду в жизни Ньютона (пожар, переутомление после издания Начал, временное психическое расстройство). Как указывается в предисловии к первому изданию Оптики, Ньютон оставляет этот вопрос для дальнейшего исследования. Можно предполагать поэтому, что болезнь застала Ньютона во время разработки этого вопроса, впоследствии же к нему он не возвращался. Био (J. B. Biot, l. c., 4-ème vol., p. 229—246) дает теорию солнечных корон, пользуясь наблюдением Ньютона на основании теории приступов, и получает такие цифры:

	Квадрат диаметров	
	вычисл.	набл.
1-я корона	29	30
2-я »	87	87
3-я »	145	144

Для диаметров капель из наблюдения Ньютона получаются такие согласные цифры: $\frac{1}{104}$, $\frac{1}{106}$, $\frac{1}{105}$ дюйма, хотя Ньютон

в качестве примера в начале 13-го наблюдения пользуется диаметром $\frac{1}{500}$ дюйма.

137. (К стр. 241.) Inflexions.

138. (К стр. 241.) Диффракционные явления открыты и обстоятельно описаны Гримальди в Physico-Mathesis (ср. примечание 22). Гримальди обнаружил не только внешние диффракционные полосы по сторонам тени, но и полосы, заходящие внутрь тени. Ньютон не упоминает об этих внутренних полосах, хотя неоднократно ссылается на Гримальди. Эти полосы представляют значительное затруднение для того объяснения диффракционных явлений, которое предлагает Ньютон. В период 1672—1675 гг. диффракционными явлениями занимался Гук, предполагая, что он открыл новое, ранее неизвестное явление. В конце первой части мемуара 1675 г. Ньютон пишет: «Я мог бы здесь закончить, но имеется еще другое странное явление цветов, которое заслуживает внимания. Вы можете вспомнить, что мр. Гук говорил о неправильном рассеянии света, вызываемом при прохождении света вблизи ребра бритвы, лезвия или другого непрозрачного тела в темной комнате. Лучи, проходящие очень близко около ребра, благодаря этому рассеиваются по всем углам внутрь тени лезвия. По этому поводу сэр Виллььям Петти, тогда президент, поставил один очень уместный вопрос: не происходит ли такое рассеяние по кривым линиям? Это заставило меня сказать после того, как я слышал несколькими днями раньше, как мр. Гук сравнивал такое рассеяние с рассеянием звука внутрь покоящейся среды, что я считаю его только новым родом преломления, вызванным, может быть, тем, что внешний эфир начинает немного разрежаться в сравнении со свободным пространством, еще не доходя до темного тела. Более плотный эфир вне тела и разреженный эфир внутри него ограничиваются не математической поверхностью, а переходят друг в друга через промежуточные степени плотности. Поэтому лучи, проходящие столь близко от тела, что они заходят внутрь тех пределов, где внешний эфир начинает разрежаться, должны преломляться благодаря неодинаковой плотности и отклоняться внутрь к более разреженной среде тела. Мр. Гуку было угодно на это ответить, что хотя бы это и был только новый род преломления, однако все же новый. Я не знал, что делать с этим неожиданным ответом, ибо не имел других мыслей, кроме того, что новый род преломления может быть столь же благородным открытием, как и всякая другая вещь, касающаяся света. Но после этого, я не знаю по какому случаю, мне довелось сказать некоторым лицам, которые присутствовали при том, что происходило, что я думаю, я видел этот опыт раньше у одного итальянского автора. Автор этот, Гоноратус Фабер (француз Оноре Фабри) в своем диалоге „De Lumine“, заимствованном из Гримальдо, которого я упоминаю, так как наме-

рен описать кое-что, являющееся шагом вперед в сравнении с ним». Из этой цитаты можно видеть, что поводом диффракционных опытов Ньютона явились опыты Гука. Точная дата производства этих опытов нам неизвестна, но во всяком случае она близка к 1675 г. В предисловии указывается только, что эти наблюдения взяты из «разрозненных бумаг».

139. (К стр. **243**.) В неясной форме Ньютон с самого начала предполагает отталкивание лучей от тела при прохождении около края последнего (ср. примечание 138).

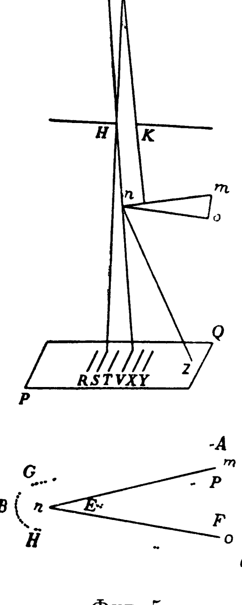
140. (К стр. 254.) Диффракционная картина от клинообразной щели фотографировалась, например, В. К. Аркадьевым (ЖРФХО, часть физич., 1912, стр. 145).

141. (К стр. 257.) Незаконченность Оптики видна уже из того, что третья книга имеет подразделение: часть I, хотя других частей, кроме этой одной, не имеется. Огромный материал и широкие темы, затронутые в «Вопросах», могли бы при детальном изложении заполнить не меньший объем, чем остальная часть книги. Содержание, размеры и расположение вопросов постоянно менялись Ньютоном в различных изданиях Оптики. Разночтения в различных изданиях приведены в издании трудов Ньютона, изданных Горслеем (т. IV). Первое английское издание содержит вопросы 1—7, первое предложение 8-го, 9-й, первые две трети 10-го, первую треть 11-го, 12—15-й и часть 16-го вопроса. Первое латинское издание 1706 г. содержит кроме того вторую часть 8-го вопроса, последнюю треть 10-го, последние две трети 11-го и кроме того под нумерами 17—23-й вопросы, занумерованные в последующих изданиях №№ 25—31. Во втором английском издании 1717 г. имеется последняя треть 8-го вопроса, вопросы 17—24-й и значительные добавления к вопросу 31-му. В дальнейших изданиях производились и другие добавления или выпуски в отдельных вопросах. Сравнение этих вариантов представляло бы большое значение для изучения эволюции воззрений Ньютона.

[**141 а.** (К стр. 257.) При прочих равных условиях.]

142. (К стр. 257.) Вопросы 1—4-й — набросок теории диффракции. В конце первой части мемуара 1675 г. Ньютон дает такое толкование диффракции (ср. примечание 138): «Положим, что солнце светит через малое отверстие *HK* (фиг. 5) внутрь темной комнаты и освещает бумагу *PQ*. Клин *mno* задерживает весь свет за исключением небольшой части пучка. Вы увидите тогда на бумаге шесть рядов цветов: *R*, *S*, *T*, *V*, *X*, *Y* и кроме того очень слабый свет, рассеивающийся во все стороны, как это получилось бы от преломленных лучей вроде *HnZ*... Для объяснения излома луча *HnZ* предположим, что на следующей фигуре *mno* — твердый клин, *AIC* — внешняя граница однородного эфира, разреженного внутри; в этих пределах эфир проходит все промежуточные степени; ясно, что если луч идет между *B* и *n*, он должен при проходе там отклониться от более плотной среды к *C* и тем больше, чем ближе он

подходит к n. Далее, что касается трех рядов цветов V, X, Y, то они, может быть, происходят от числа колебаний (одного, двух или трех), перегоняющих луч при его переходе от G на полпути между G и H, т. е. на ближайшем расстоянии от n, так что луч касается круга, описанного около n этим расстоянием *). Последнее из указанных колебаний, соответственно сжимая или расширяя там среду, будет давать возможность лучу снова отойти от n, продвинуться дальше и создать цвета. Если луч загнется около n и его обгонит интервал следующей волны, дав ему возможность отойти от n по линии движения, очень близко совпадающей с той, которая направлена к Z, то появится слабый свет, о котором говорилось выше. Вы поймете меня немного лучше, сравнив это с тем, что было сказано о цветах тонких прозрачных пластинок, и сравнивая наибольшее расстояние, проходимое лучом от GBH к n, с толщиною одной из этих пластинок».



Фиг. 5.

В Оптике преломление в эфире заменилось формальным действием на расстояние в соответствии с новой тенденцией Ньютона, которой проникнуты «Начала». Эфирная гипотеза приводится, однако, в других «Вопросах».

Идея Ньютона о действии тел на свет на расстоянии получила дальнейшее стройное развитие в книгах Бошковича (например, Dissertatio de lumine, auctore P. Rogerio Josepho Boscovich societatis Jesu Vindobonae MDCCLXVI, стр. 144 и др.). Корпускулы материи и света, по Бошковичу, «sunt puncta indivisibilia et inextensa a se invicem per aliquod intervallum disjuncta» [т. е. «суть точки неделимые и не имеющие протяжения, разделенные некоторым интервалом»] (стр. 68). Это — силовые центры, причем величина и направление силы меняются по очень сложному закону в зависимости от расстояния, выражаясь то притяжением, то отталкиванием. На этой основе Бошкович объясняет самый акт излучения, «приступы» Ньютона, диффракцию и пр. То же предположение

*) Ньютон стоит здесь на точке зрения компромиссной корпускулярно-волновой гипотезы, согласно которой корпускулы возбуждают в эфире волны, несколько перегоняющие корпускулы. Если корпускула попадает на разрежение волны, она проходит, если на сгущение — отражается (ср. прим. 124).

служит у Бошковича для объяснения самых разнообразных физических явлений.

В последнее время, в связи с открытием отклонения световых лучей в поле тяготения (1919—1922 гг.), вспомнили о 1-м вопросе Ньютона. Аналогия, конечно, внешняя. Ньютон говорит об отталкивании, а не о притяжении, вводит понятие о дисперсии при таком отклонении и совершенно не учитывает величины гравитационной массы.

143. (К стр. 258.) Ср. примечание 100.

144. (К стр. 258.) Ср. примечание 119.

145. (К стр. 258.) Блуждающие огни.

146. (К стр. 258.) Во втором издании после этого упоминался еще «болонский фосфор, возбуждаемый лучами света», в 3-м издании этот пример опущен; ср. конец примечания 58.

147. (К стр. 259.) Другие электрические опыты Ньютона с притяжением кусочков бумаги стеклом описываются в первой части мемуара 1675 г., причем Ньютон объясняет там движения бумажек «эфирным ветром».

148. (К стр. 259.) В оригинале still.

149. (К стр. 260.) Ср. примечание 120. В других местах книги селитряным спиртом называется азотная кислота.

150. (К стр. 260.) Эолипила — металлический полый шар с изогнутой трубкой, имеющей очень узкое отверстие. При нагревании шара внутренний воздух расширяется и большей частью выходит через отверстие. Быстро погружая трубку в воду, внутрь шара вгоняют некоторое количество воды. При нагревании пар выбивается с большой силой через отверстие. Если направить струю пара на тлеющий уголь, последний ярко вспыхивает.

151. (К стр. 261.) В корпускулярной, телесной теории света.

152. (К стр. 262.) Ср. примечание 124. Математическое учение о колебательных и волновых движениях изложено Ньютоном в Началах. Едва ли кто-нибудь из современников Ньютона, включая Гюйгенса и Гука, обладал такими ясными представлениями о волновом процессе, как он сам.

153. (К стр. 263.) В бумагах Ньютона сохранилось подробное изложение этой анатомической схемы с соответствующим чертежом. Текст документа и история вопроса приведены у Брюстера (v. I, pp. 226, 432). Ср. также письмо Ньютона к Бриггсу (J. Edelston, p. 250).

153а. (К стр. 264.) Ср. письмо Ньютона к Локку от 30 июня 1691 г., где он подробно описывает наблюдения над последовательными зрительными образами и отмечает перенос последовательных образов с одного глаза на другой (D. Brewster, v. I, p. 236).

154. (К стр. 264.) Ср. примечания 124 и 142.

155. (К стр. 266.) Эта теорема выводится в Началах (часть II).

детализирует его в следующем 26-м вопросе и весьма ясно описывает явление поляризации света. В дальнейшем Ньютон устанавливает аналогию с магнитными полюсами (конец 29-го вопроса) и рассматривает явление как сильный аргумент в пользу корпускулярной теории света (световой луч — твердое тело) и поворачивает, таким образом, аргументацию Гюйгенса (двойное преломление — experimentum crucis волновой теории Гюйгенса) против него самого. Гюйгенс, описывая в конце своего трактата явления, происходящие при прохождении через два последовательных кристалла, крайне неопределенно говорит о том, что, повидимому, «световые волны вследствие прохождения через первый кристалл приобретают некоторую фигуру или расположение... но для того, чтобы объяснить, каким образом это происходит, я до сих пор не нашел ничего, меня удовлетворяющего» (Христиан Гюйгенс, Трактат о свете, М. — Л., 1935, стр. 1_0). Сопоставляя эту фразу с отчетливым утверждением Ньютона, можно, по нашему мнению, считать приоритет открытия поляризации принадлежащим ему. Открыть другие «свойства света, по отношению к которым отличались бы стороны луча и разнились одна от другой», удалось только Малюсу в 1808 г. [сообщение во Французской Академии 12 дек. 1808 г., Memoires de Physique et de Chemie de la Société d'Aracueil, Paris, 1809; то же II, pp. 143 etc., 254 etc. Малюс же ввел термин «поляризация», повидимому, пользуясь ньютоновыми представлениями, и дал корпускулярную теорию поляризации при отражении]. Корпускулярную теорию двойного преломления дал Лаплас; ср. также у Био (J. B. Biot, l. c., 3-ème vol., p. 325).

163. (К стр. 274.) Изначальные свойства светового луча, которых Ньютон касается в Оптике: 1) свойства, связанные с цветностью, 2) поляризация и 3) «приступы». Относит ли, однако, Ньютон последние к изначальным свойствам, сказать трудно, поскольку в «гипотезе», несколько раз указываемой Ньютоном, «приступы» могут приобретаться и являются результатом наличия волн, вызываемых световым лучом в веществе. Нельзя не отметить, что Ньютон совершенно обходит понятие интенсивности света и тем самым не включает ее в «изначальные свойства». С точки зрения корпускулярной теории сила света определяет только количество корпускул (квантов), приходящих в единицу времени, следовательно, это вообще не свойство луча, а пучка света.

164. (К стр. 275.) Ср. примечание 138.

165. (К стр. 276.) Ср. примечание 162.

166. (К стр. 277.) Те же соображения со всей их первоначальной простотой используются в наше время для определения закона падения очень малых тел в газе (ср. R. A. Millikan, Genaral law of full through a gas, Physical Review, 22, p. 4, 1923).

167. (К стр. 277.) Опыты изложены в Началах (книга 2-я, отдел VI, общее поучение, русский перевод акад. А. Н. Крылова, стр. 364).

156. (К стр. 268.) Волоски

157. (К стр. 268.) Универсальная гипотеза эфира, излагаемая в 18—24-м вопросах, впервые высказана в первой части мемуара 1675 г. Эфир Ньютона качественно объясняет самые разновидные явления: тяготение, отражение света, диффракцию, периодичность ньютоновых колец, нервные процессы и пр. В этом отношении Ньютон показал, что он может сделать не меньше других. Однако смысл помещения 18—24-го вопросов, повидимому, и сводится только к тому, чтобы показать противникам обладание искусством построения гипотез. Из последующего ясны сомнения Ньютона в отношении к гипотезе эфира, которые, впрочем, сказываются уже и в этих вопросах в самом тоне изложения: «Ибо я не знаю, что такое этот эфир». Появление этих вопросов во втором издании Оптики связано, повидимому, с постоянными обвинениями Ньютона в том, что он рассматривает тяготение как первичное свойство материи (qualitas occulta). Гипотеза Ньютона дает возможность истолкования тяготения при помощи давления эфира.

158. (К стр. 269.) E r a s m i B a r t h o l i n i, Experimenta crystalli Islandici disdiaclastici quibus mira et insolito refractio deligitur. Hafniae, 1670. Подробное изложение открытия Бартолинуса дано в Phil. Trans. за 1670 г. (Phil. Trans. abridged, vol. 1, p. 545).

159. (К стр. 269.) Ср. примечание 45. Трактат Гюйгенса «Traité de la Lumière» появился в Лейдене в 1690 г. Современные переводы этого трактата имеются на языках английском и немецком [и русском, см. прим. 118].

160. (К стр. 269.) Это подробное описание показывает, что Ньютон сам производил наблюдения над кристаллом исландского шпата, а не пользовался данными Гюйгенса. Неверное эмпирическое правило преломления необыкновенного луча, приводимое в Оптике, очевидно, результат этих опытов. Ньютон никогда не пользовался теоретическими воззрениями других авторов. Упоминая имена Гримальди, де Доминиса, Гука, указывая их опыты, Ньютон совершенно не упоминает теоретических толкований этих авторов (за исключением теории радуги). По отношению к Гюйгенсу Ньютон поступил так же, не воспользовавшись остроумным известным геометрическим построением Гюйгенса, совершенно точно описывающим действительное положение дела. Немалую долю в этом умалчивании следует, конечно, приписать и тому, что Гюйгенс выводил свое правило из волновой теории света, не разделявшейся Ньютоном. Только опыты Волластона в XVIII веке восстановили справедливость правила Гюйгенса.

161. (К стр. 272.) Это изначальное свойство, открываемое Ньютоном, — с о х р а н е н и е п л о с к о с т и п о л я р и з а ц и и светового луча, если применять современную терминологию. Гюйгенс этой изначальности не заметил.

162. (К стр. 274.) Указав в предыдущем 25-м вопросе наличие нового изначального свойства световых лучей, Ньютон

Комптоном (1923) и состоящего в изменении длины волны рентгеновских лучей при рассеянии].

193. (К стр. 297.) Ср. примечание 103.

194. (К стр. 298.) Francis Hawksbee (род. во второй половине XVII века, год смерти нам неизвестен). С 1705 г. куратор экспериментов в Королевском Обществе (должность, в свое время занимавшаяся Гуком). Известен рядом работ по электричеству и поверхностному натяжению. В 1709 г. выпустил книгу: «Physico-Mechanical Experiments on various subjects, touching light and electricity producible on the attrition of bodies». London.

195. (К стр. 298.) 1 фурлонг = 660 англ. футам, т. е. около 201 метра. Вес цилиндра воды, упоминаемого Ньютоном, около 250 *кг*.

196. (К стр. 300.) Это утверждение основано, повидимому, на параллельных барометрических и гигрометрических наблюдениях, т. е. обусловлено связью атмосферного давления в наших широтах с влажностью (F. Rosenberger, l. c., S. 324).

197. (К стр. 301.) Обширный 31-й вопрос Оптики, в котором Ньютон полагает начало учению о молекулярных силах во всех их разнообразных проявлениях (химическое сродство, капиллярные силы, сцепление, диффузия), не является присоединенным к Оптике просто механически. Объяснение основных оптических явлений преломления, отражения, диффракции сводится, по Ньютону, к проявлению молекулярных притягательных и отталкивательных сил, и сами световые лучи — «повидимому, твердые тела». Излучение света и поглощение — род химических превращений. Ученик Ньютона Кейль (Keill) развил соображения, изложенные в 31-м вопросе, дальше (Philosophical Transactions, 1689, № 315, p. 97). Необычайно широкое развитие нашла идея Ньютона о притягательных и отталкивательных силах, как основном принципе природы, в учении Бошковича (ср. примечание 142). Изложение учения Бошковича и полную библиографию его многочисленных трудов можно найти в книге D. Nedelkovitch, La philosophie naturelle et relativiste de R. I. Boscovich. Paris, 1919. Синтезирующая книга Бошковича, Philosophia naturalis theoria redacta ad unicam legem virium in natura existentium, 1758, недавно переиздана с переводом на английский язык. До последнего времени возникают попытки охватить всю физику одним универсальным силовым законом.

198. (К стр. 304.) В этом месте особенно определенно высказано атомистическое воззрение Ньютона, которое в неявной форме легко проследить во многих местах Оптики.

199. (К стр. 305.) Защитные прозрачные пленки перед глазами многих животных.

200. (К стр. 306.) Подробнее это развито в четырех письмах к Бентлею (Bentley) (1692—1693 гг.) (D. Brewster, l. c., p. 257). Ср. конец примечания 169.

201. (К стр. 307.) Этот абзац содержит сжатое изложение метода принципов, который Ньютон противопоставлял произволь-

ному методу гипотез. Начала — образец применения синтетической части метода принципов — объяснения новых явлений на основании принципов. В Оптике индуктивным аналитическим методом разыскиваются самые принципы — изначальные свойства световых лучей.

202. (К стр. 307.) Последняя фраза Оптики имеет разночтения в различных изданиях. В первом издании книга кончалась словами «творцу и благодетелю». Во втором латинском издании 1721 г. пропущенная фраза была заменена таким предложением: «Как делало большинство из них, пока не развратились душою и нравами. Ибо нравственный закон от начала человека во вселенной заключался в семи заповедях, данных сыновьям Ноя. Из этих заповедей первая была — признавать единого господа бога, поклонение которому нельзя переносить на других. И без этого начала не может быть добродетели и чистого имени».

[**202а.** (К стр. 311.) Написано в 1927 г.]

КО ВТОРОМУ ИЗДАНИЮ «ОПТИКИ» НЬЮТОНА В ПЕРЕВОДЕ И С КОММЕНТАРИЯМИ С. И. ВАВИЛОВА

С. И. Вавилов являлся одним из лучших знатоков творчества Исаака Ньютона. Особенно глубоко и полно им были изучены оптические работы Ньютона, важнейшие из которых появились на русском языке при жизни С. И. Вавилова в его превосходных переводах, с многочисленными комментариями.

«Оптика» Ньютона была переведена С. И. Вавиловым в 1927 г. и выпущена к 200-летию со дня смерти Ньютона (20 марта ст. ст. 1727 г.). В том же году был напечатан в «Успехах физических наук» (т. VII, вып. 2) выполненный С. И. Вавиловым перевод двух оптических мемуаров Ньютона. Наконец, в 1946 г. С. И. Вавилов перевел и снабдил комментариями «Лекции по оптике» Ньютона; это издание является единственным полным изданием «Лекций» на живом языке. Даже в Англии имеется в полном объеме лишь их латинский текст.

В 1943 г. к 300-летию со дня рождения Ньютона вышла книга С. И. Вавилова «Исаак Ньютон» — научная биография великого ученого, содержащая, несмотря на небольшой объем, огромный и разнообразный материал. Книга была переиздана в 1945 г. Если принять во внимание многочисленные статьи С. И. Вавилова, посвященные Ньютону, то станет ясно, какой глубокий интерес питал С. И. Вавилов к творчеству Ньютона и как много усилий он положил, чтобы сделать это творчество доступным нашему читателю.

Знакомство с классиками науки по их собственным трудам, а не по изложению этих трудов в учебниках, имеет огромное значение при формировании научного мировоззрения молодого ученого. Это положение горячо защищал С. И. Вавилов, и его влияние на издание обширной классической литературы как в издательстве Академии наук СССР, так и в Государственном издательстве технико-теоретической литературы — несомненно.

Русское издание важнейшего оптического произведения Исаака Ньютона — его «Оптики» — в настоящее время стало библиографической редкостью, и Издательство взяло на себя труд повторить его. В этом издании сохранен без изменения текст перевода и многочисленные комментарии и примечания С. И. Вавилова. Я считал лишь необходимым исправить опечатки или описки, дополнить некоторые даты и исторические ссылки и в двух-трех местах произвел небольшие купюры в высказываниях, относящихся к вопросам современной физики и уместных в 1927 г., а в настоящее время утративших значение. Где возможно, я и эти замены произвел в соответствии с более поздними высказываниями С. И. Вавилова. Все дополнения отмечены в тексте примечаний прямыми скобками. Небольшие изменения (в два-три слова) не оговорены. Список жизнеописаний Ньютона пополнен книгой С. И. Вавилова «Исаак Ньютон». Кроме того, приведен список работ С. И. Вавилова, посвященных Ньютону.

Г. С. Ландсберг.

Москва, май 1954.



СПИСОК РАБОТ С. И. ВАВИЛОВА, ПОСВЯЩЕННЫХ И. НЬЮТОНУ

1. И. Ньютон, Оптика или трактат об отражениях, преломлениях, изгибаниях и цветах света. Перевод с 3-го англ. издания 1721 г. с примечаниями С. И. Вавилова. М. — Л., Гос. изд., 1927.
2. Принципы и гипотезы оптики Ньютона, УФН, 1927, т. 7, вып. 2, стр. 87—106.
3. Предисловие к переводу «Оптических мемуаров Исаака Ньютона», УФН, 1927, т. 7, вып. 2, стр. 123—124.
4. Примечания к переводу «Оптических мемуаров Ньютона». Там же, стр. 159—163.
5. Исаак Ньютон и закон всемирного тяготения, Искра, 1927, № 3, стр. 2—4.
6. Исаак Ньютон, М. — Л., Изд. АН СССР, 1943.
7. То же, изд. 2, просм. и доп., М. — Л., Изд. АН СССР, 1945.
8. То же на нем. яз. Wien, «Neue Österreich», 1948.
9. То же на румынск. яз. Б. м., Editurà de Stat, 1947.
10. Исаак Ньютон, 1643—1727. В кн. Исаак Ньютон, 1643—1727. Сборник статей к трехсотлетию со дня рождения. Под редакцией акад. С. И. Вавилова, М. — Л., Изд. АН СССР, стр. 429—437.
11. Эфир, свет и вещество в физике Ньютона, там же, стр. 33—52 (а также в кн. Московский университет — памяти Исаака Ньютона, М., Изд. МГУ, 1946).
12. Ньютон и современность, Природа, 1943, № 1, стр. 75—79.
13. И. Ньютон, Лекции по оптике. Перевод, комментарии и редакция С. И. Вавилова, М. — Л., Изд. АН СССР, 1946.
14. «Лекции по оптике» Ньютона. В кн. Труды Института истории естествознания, т. 1, М. — Л., Изд. АН СССР, 1947, стр. 315—326.
15. Атомизм И. Ньютона, УФН, 1947, т. 31, вып. 1, стр. 1—15.

СОДЕРЖАНИЕ

ПРИЛОЖЕНИЯ

